



ACTUALITÉS SCIENTIFIQUES ET INDUSTRIELLES

492

SYSTÈMES DE RÉFÉRENCE  
ET MOUVEMENTS

(Physique relativiste)

PAR

Augustin SESMAT

Professeur d'Histoire et de Critique des Sciences  
à l'Institut Catholique de Paris

VII

ESSAI CRITIQUE

SUR

LA DOCTRINE RELATIVISTE



PARIS

HERMANN & C<sup>ie</sup>, ÉDITEURS

6, Rue de la Sorbonne, 6

1937





# ACTUALITÉS SCIENTIFIQUES ET INDUSTRIELLES

PUBLIÉES SOUS LA DIRECTION DE MM.



**René AUDUBERT**

Directeur de Laboratoire à l'Ecole  
des Hautes Etudes

## **ÉLECTROCHIMIE THÉORIQUE**

**J.-P. BECQUEREL**

Professeur au Muséum d'Histoire Naturelle

## **OPTIQUE ET MAGNÉTISME AUX TRÈS BASSES TEMPÉRATURES**

**G. BERTRAND**

Membre de l'Institut  
Professeur à l'Institut Pasteur

## **CHIMIE BIOLOGIQUE**

**L. BLARINGHEM**

Membre de l'Institut  
Professeur à la Sorbonne

## **BIOLOGIE VÉGÉTALE**

**Georges BOHN**

Professeur à la Faculté des Sciences

## **ZOOLOGIE EXPÉRIMENTALE**

**J. BORDET**

Prix Nobel  
Directeur de l'Institut Pasteur de Bruxelles

## **MICROBIOLOGIE**

**J. BOSLER**

Directeur de l'Observatoire de Marseille

## **ASTROPHYSIQUE**

**Léon BRILLOUIN**

Professeur au Collège de France

## **THÉORIE DES QUANTA**

**Louis de BROGLIE**

Membre de l'Institut  
Professeur à la Sorbonne  
Prix Nobel de Physique

## **I. PHYSIQUE THÉORIQUE II. PHILOSOPHIE DES SCIENCES**

**Maurice de BROGLIE**

De l'Académie Française  
et de l'Académie des Sciences

## **PHYSIQUE ATOMIQUE EXPÉRIMENTALE**

**D. CABRERA**

Directeur de l'Institut de Physique et Chimie  
de Madrid

## **EXPOSÉS SUR LA THÉORIE DE LA MATIÈRE**

**E. CARTAN**

Membre de l'Institut  
Professeur à la Sorbonne

## **GÉOMÉTRIE**

**M. CAULLERY**

Membre de l'Académie des Sciences  
Professeur à la Faculté des Sciences

## **BIOLOGIE GÉNÉRALE**

**L. CAYEUX**

Membre de l'Institut  
Professeur au Collège de France

## **GÉOLOGIE**

**A. COTTON**

Membre de l'Institut  
Professeur à la Sorbonne

## **MAGNÉTO-OPTIQUE**

**M<sup>me</sup> Pierre CURIE**

Professeur à la Sorbonne  
Prix Nobel de Physique  
Prix Nobel de Chimie

## **RADIOACTIVITÉ ET PHYSIQUE NUCLÉAIRE**

**Véra DANTCHAKOFF**

Ancien Professeur à l'Université Columbia  
(New-York)

Organisateur de l'Institut  
de Morphogénèse Expérimentale  
(Moscou Ostaukino)

## **LA CELLULE GERMINALE DANS L'ONTOGÈNESE ET L'ÉVOLUTION**

**E. DARMOIS**

Professeur à la Sorbonne

## **CHIMIE-PHYSIQUE**

**K. K. DARROW**

Bell Telephone Laboratories

## **CONDUCTIBILITÉS DANS LES GAZ**

**Arnaud DENJOY**

Professeur à la Sorbonne

## **THÉORIE DES FONCTIONS DE VARIABLE RÉELLE**

**J. DUESBERG**

Recteur de l'Université de Liège

## **BIOLOGIE GÉNÉRALE EN RAPPORT AVEC LA CYTOLOGIE**

*CATALOGUE SPÉCIAL SUR DEMANDE*



B. S. Mohan Rao



ACTUALITÉS SCIENTIFIQUES ET INDUSTRIELLES

492

SYSTÈMES DE RÉFÉRENCE  
ET MOUVEMENTS

(Physique relativiste)

PAR

Augustin SESMAT

Professeur d'Histoire et de Critique des Sciences  
à l'Institut Catholique de Paris

VII

ESSAI CRITIQUE

SUR

LA DOCTRINE RELATIVISTE



PARIS

HERMANN & C<sup>ie</sup>, ÉDITEURS

6, Rue de la Sorbonne, 6

—  
1937

DU MÊME AUTEUR :

(LIBRAIRIE HERMANN)

---

I. — SYSTÈMES DE RÉFÉRENCE ET MOUVEMENTS

(*Physique classique*)

- I. — Le problème des mouvements réels.
- II. — L'Ancienne astronomie, d'Eudoxe à Descartes.
- III. — Mécanique newtonienne et gravitation.
- IV. — Le système absolu de la mécanique.
- V. — L'optique des corps au repos.
- VI. — L'optique des corps en mouvement.
- VII. — L'esprit de la science classique.

II. — SYSTÈMES DE RÉFÉRENCE ET MOUVEMENTS

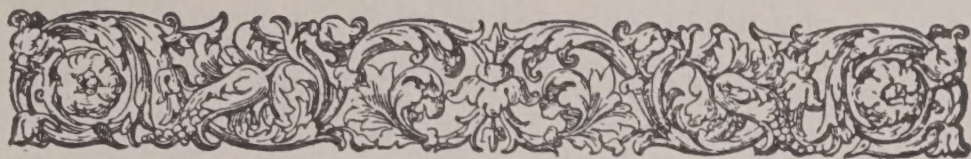
(*Physique relativiste*)

- I. — Genèse des théories de la relativité.
- II. — Principes de la théorie restreinte.
- III. — Les systèmes privilégiés de la théorie restreinte.
- IV. — Principes de la théorie générale.
- V. — Théorie relativiste de la gravitation.
- VI. — Les systèmes privilégiés de la théorie générale.
- VII. — Essai critique sur la doctrine relativiste.

---

Tous droits de traduction, de reproduction et d'adaptation  
réservés pour tous pays.

COPYRIGHT 1937 BY LIBRAIRIE SCIENTIFIQUE HERMANN ET C<sup>ie</sup>,  
PARIS.



## CHAPITRE V

### ESSAI CRITIQUE SUR LES THÉORIES DE LA RELATIVITÉ

---

#### ARTICLE XVI

#### RÉFLEXIONS SUR LES PRINCIPES DE LA DOCTRINE

##### 137. Rappel des principes du relationnisme hiérarchique.

**D**ANS ce chapitre nous voudrions nous placer à un point de vue expressément critique. Plusieurs passages de notre exposé, en particulier nos développements concernant la permanence au sein de la théorie restreinte ou générale de la relativité de systèmes ou de repères privilégiés, contiennent déjà une part de critique implicite. Cependant nous nous placions alors au point de vue proprement relativiste, ne cherchant qu'à rectifier certaines interprétations de la théorie et en regardant comme valables les principes et les postulats. Ici nous voudrions porter notre attention sur ces principes et ces postulats eux-mêmes ; nous demander jusqu'à quel point il est nécessaire, ou raisonnable, ou possible, de les admettre.

Un tel examen, va-t-on dire, suppose que vous vous appuyiez sur certains principes supérieurs. Oui, et nous demandons qu'on veuille bien nous y autoriser, bien qu'il s'agisse ici de convictions motivées certes, à notre sens, mais qu'*a priori* on pourra juger discutables.



Quels seront donc nos principes ? Avant tout le principe d'intelligibilité lequel nous convainc à la fois de l'existence d'un ordre objectif rationnel — au sens large — et de notre aptitude à en découvrir au moins les grandes lignes. De ce principe nous nous autoriserons surtout pour combattre les tendances étroitement positivistes de certains théoriciens de la relativité.

Mais ce n'est là qu'un postulat très général, et il y a plus à dire. La Physique a existé, sous sa forme dite classique, avant l'éclosion des idées relativistes ; et depuis cette éclosion elle s'est développée, dans le domaine corpusculaire surtout, sans s'inféoder toujours aux nouvelles doctrines. Or il est permis de faire ce qu'on peut appeler la philosophie de cette physique, et de dégager certains traits fondamentaux de la conception du monde où elle aboutit. Ayant ébauché déjà une étude de ce genre, étant arrivé, croyons-nous, à rendre plus intelligibles en les achevant par la pensée quelques-unes des grandes thèses classiques, nous demandons la permission de nous référer ici à nos conclusions antérieures et d'y trouver des lumières pour l'examen critique des théories nouvelles ; d'autant que par certains de ses caractères fondamentaux la philosophie classique de la nature nous paraît s'opposer avantageusement à la philosophie relativiste.

Pour souligner en deux mots les caractères dont il s'agit nous dirons que la Physique classique, aussi bien que la Physique corpusculaire moderne envisagée dans ses thèses les plus incontestables, conduisent en droit à un *relationnisme hiérarchique*, ou si l'on veut le supposent.

Nous entendons par là que le Monde est, objectivement, un ensemble indissoluble de termes et de rapports en nombre fini ; termes concrets et réels, rapports multiples et complexes, mais tels les uns et les autres qu'on peut les dissocier par la pensée en éléments ou en relations plus simples, qui s'y trouvent impliqués et qui peuvent être dissociables à leur tour de la même manière.

Au niveau de la Physique les *termes* sont surtout des particules matérielles, soit simples soit complexes, avec leurs propriétés géométriques et mécaniques stables, ou leurs états dynamiques transitoires — car les qualités sensibles comme telles sont considérées par tous les physiciens comme une traduction abrégée à notre usage d'un dynamisme objectif pur, infiniment plus complexe que le monde des apparences sensibles ; les *relations* sont, suivant



le point de vue, des rapports de succession ou de simultanéité entre événements concernant les particules ; des rapports de situation entre particules au repos relatif, ou de mouvement relatif entre particules mobiles ; des rapports dynamiques entre particules douées de masse ; des rapports chimiques entre atomes ; des rapports de grandeur entre éléments mesurables de même espèce, etc.

Maintenant si l'on veut considérer l'ensemble, toujours fini par hypothèse, des termes reliés par certaines relations objectives du même genre, par exemple l'ensemble des événements et de leurs dates, ou l'ensemble des états dynamiques successifs du système total des masses, on se trouve en présence de séries hiérarchiques dont chacune possède en droit un terme absolument premier : séries hiérarchiques parce que chacun des termes intérieurs y dépend d'un autre et en a un autre sous sa dépendance ; séries commençant par un terme absolument premier, parce que ce terme, tout en commandant ceux qui le suivent, échappe lui-même à la loi de dépendance qui relie chacun des autres au terme précédent.

Nous avons signalé ailleurs et nous rappelons ici trois conséquences particulièrement importantes de cette conception finitiste et hiérarchique : la première est qu'il y eut un moment absolument premier de l'histoire dynamique du monde ; la seconde, solidaire de la précédente, qu'il y a un système de référence absolu, le système  $\Sigma$ , déterminé par les positions de repos que les masses occupaient au moment absolument premier ; la troisième, qu'il existe des grandeurs absolument premières — masses élémentaires, charges élémentaires, distances fondamentales, etc., — qui en droit pourraient servir à la mesure naturelle de toutes les autres grandeurs. Et chacun des termes premiers ainsi conçus échappe, comme nous le disions, par le fait même qu'il est premier, à la dépendance des autres termes du même genre : dans l'absolu on ne daterait pas le premier instant ; on ne situerait pas le système  $\Sigma$  et l'on n'aurait à lui attribuer ni repos ni mouvement ; on ne mesurerait pas les grandeurs élémentaires.

Ainsi, tous les éléments du monde sont en rapport, exclusivement, les uns avec les autres ; car jamais n'est admise aucune relation entre un de ces éléments et quelque chose d'irréel comme par exemple un point de l'espace en tant que tel ; c'est le rela-

*tionnisme*. D'autre part les éléments du monde et leurs relations constituent des séries finies dépendant chacune d'un terme privilégié ; c'est un relationnisme *hiérarchique* : il contredit ce relativisme an-archique qui prétendrait proclamer l'égale aptitude de tous les termes à servir de point d'appui à la pensée pour la considération de l'ensemble. Enfin l'existence de ces termes qui manifestement transcendent, au moins en fait, notre science positive, est affirmée par la raison en quête d'intelligibilité totale ; c'est un *rationalisme*, qui s'oppose, nous ne dirons pas au positivisme tout court, parce que ce mot peut signifier prudence et souci du concret, mais à un certain positivisme étroit.

Ces caractères sans doute ne se révèlent point explicitement dans les théories de la physique d'inspiration classique ; c'est en faisant la philosophie de cette physique qu'on les découvre ; mais précisément de ce point de vue ils sont si manifestes, ils représentent si bien l'idéal auquel tendent plus ou moins implicitement les théories — l'idée du système  $\Sigma$  par exemple permettant de résoudre à fond tous les problèmes classiques relatifs au mouvement, et les grandeurs vraiment premières étant recherchées avec de plus en plus de confiance par toute la physique corpusculaire moderne —, enfin la conception du monde qui les possède est si achevée et si intelligible, que, en dépit de certaines difficultés anciennes ou récentes, nous éprouverions quelque peine à mettre en doute la valeur objective des principes qu'ils supposent.

C'est pourquoi nous allons dans ce qui suit opposer ces principes aux postulats spécifiquement relativistes, un peu comme le plus vrai au moins vrai, ou si l'on veut comme l'achevé à l'incomplet. Nous espérons d'ailleurs que les principes en question, loin de pâtir de la confrontation, en sortiront plutôt éclaircis encore et renforcés.

**138. Les deux théories de la relativité sont d'inspiration positiviste.** — Nous ne prétendons point que les théories d'Einstein soient effectivement conformes au postulat positiviste, postulat qui tendrait à réduire toute la réalité objective à ce qui est perçu ou pourrait être perçu par nous ; mais nous disons qu'en fait Einstein s'est souvent laissé guider par ce postulat en construisant ses théories, et nous n'en voulons pour preuves que ses propres définitions, affirmations, ou arguments.



Quand il propose sa définition de la simultanéité, il fait valoir qu'à l'encontre de la définition classique elle ne fait intervenir que des relations contrôlables par des expériences directes.

Les événements dont il fait les éléments premiers de son Univers ont le caractère concret de rencontres, toujours observables en principe, de particules matérielles ; et dans la théorie restreinte ses systèmes de référence sont des corps matériels semés de règles et d'horloges.

Son principe restreint de l'équivalence de tous les systèmes d'inertie, avec le postulat de la relativité des translations *r.* et *u.* repose pour lui sur l'impossibilité de fait où nous nous trouvons de déceler expérimentalement le privilège du système absolu classique.

Il justifie son postulat général du mouvement relatif en disant que le privilège d'un système de référence quelconque supposerait que ce système se distinguât des autres par certains caractères observables, autres que ce privilège lui-même.

Enfin à ce propos tout au moins il se réclame de Mach, dont les convictions positivistes bien connues s'étaient affirmées en particulier dans cette thèse que les mouvements classiques privilégiés ne pouvaient être que des mouvements — en principe observables — relatifs à l'ensemble des masses existantes.

Tout cela, sans doute possible, est d'inspiration positiviste. Mais il est trop clair que tout positivisme conséquent est intenable. En physique un positiviste pur devrait se borner à décrire les faits dans leur ordre d'apparition, et encore, les faits bruts, donc les sensations, qualitatives ou autres, telles qu'elles sont pour les divers observateurs. En fait le physicien dépasse toujours ce programme : non seulement il recherche ce qui est vrai pour tous les observateurs, mais, parmi les éléments perçus il ne retient les qualités sensibles — même quand il doit mesurer leur intensité ou discerner leurs nuances — que comme indices de réalités sous-jacentes, particules, vibrations, etc., la plupart du temps non directement perceptibles ; surtout, il croit à un ordre objectif plus profond et plus ample que ce qui est du domaine de ses perceptions, et il cherche à le découvrir non seulement en analysant le donné, mais beaucoup plus en l'amplifiant, dans un travail de *reconstruction* modelé sur l'expérience et contrôlé par elle, mais qui aboutit à une synthèse où le perceptible, même réduit à ses élé-



ments géométriques et dynamiques, est comme immergé dans le concevable.

Et ce qui malgré cela garantit la solidité d'une telle reconstruction, c'est d'une part la méthode suivie, la méthode inductive, aussi puissante et hardie dans l'invention de ses hypothèses pour la découverte du concevable que prudente et rigoureuse dans leur vérification, c'est-à-dire dans le contrôle de leurs conséquences perceptibles ; c'est d'autre part la réussite souvent merveilleuse des théories du réel ainsi édifiées.

Au surplus l'intelligence humaine se sent poussée à suivre cette méthode ; elle trouve sa joie dans ces réussites : comment pourrait-elle sans abdiquer souscrire au postulat positiviste qui, s'il était entièrement respecté réduirait l'homme à constater sans comprendre, et s'il était vrai rendrait inintelligibles les plus beaux succès des sciences même positives ?

Mach et Einstein en seraient-ils donc venus à cette extrémité ? Nullement, et l'on peut dire que chez Einstein surtout la hardiesse constructive a repris tous ses droits : c'est que, tout en admettant en thèse générale que la raison est capable de découvrir un monde objectif autre que celui de l'expérience directe, on peut, dans certains problèmes spéciaux où le réel concevable est plus difficile peut-être à découvrir, ou bien plus éloigné du sensible, être tenté de nier son existence : alors on dénoncera l'irréalité desdits problèmes ; on se flattera de mettre sur pied une théorie nouvelle où ils seront purement et simplement supprimés ; et, pour peu qu'on paraisse y réussir, on proclamera la solidité d'une conception d'où grâce à un positivisme strict seront bannis enfin tout élément transcendant, toute « métaphysique ».

Ne serait-ce pas là un peu l'histoire des théories relativistes, du moins en ce qui concerne le problème du repérage des mouvements ? Nous ne sommes pas éloigné de le croire ; et quelques réflexions complémentaires sur le sujet suffiront sans doute à nous en persuader tout à fait.

**139. Un positivisme même mitigé risque d'empêcher que certains problèmes soient bien posés et correctement résolus.** — Si l'on veut se tenir trop près de l'observable, si l'on oublie la puissance de découverte et de contrôle de la méthode inductive, on sera facilement conduit à exclure du monde objectif des éléments

parfaitement réels, sous prétexte que l'homme ne saurait les atteindre.

Est-il pire anthropomorphisme que celui qui prétendrait réduire l'Univers aux limites de l'expérience humaine ? Pourtant l'examen précis, de ce biais, de la question des mouvements réels et du système de référence absolu va nous révéler cette étrange prétention chez certains classiques et surtout chez certains relativistes.

Il est évident que pour saisir une phase, si courte soit-elle, d'un mouvement quelconque, il nous faut faire usage de notre mémoire, notre faculté de percevoir des termes et des rapports strictement actuels ne pouvant atteindre que des états instantanés sans liaison dans le temps, et notre mémoire seule, en nous permettant de comparer des positions successives, pouvant nous faire connaître qu'un corps se meut.

D'après cela il serait naturel, quand on cherche à se représenter l'ensemble des mouvements des corps, de ne pas s'enfermer *a priori* dans l'actuel ; et, s'il se trouve qu'aucun corps n'est constamment fixe, de ne pas exclure *a priori* la considération des positions *passées* des corps mobiles, comme pouvant servir de repères pour leurs mouvements présents. Est-ce que, pour comprendre à fond une partie de billard ou de foot-ball, on hésiterait à remonter jusqu'aux positions initiales des billes ou du ballon, et à tenir compte de tous les gestes des joueurs depuis le début ?

En droit on devrait aussi remonter au passé quand il s'agit du Monde ; en fait, sous l'influence d'un « stabilisme » qui tend à accorder au présent je ne sais quelle primauté sur l'inactuel, et qui n'est au fond qu'un corollaire d'un positivisme étroit plus ou moins conscient, on a prétendu découvrir le repère fondamental de tous les mouvements dans quelque chose d'actuellement donné : les uns ont dans ce but réalisé l'espace ; d'autres se sont rassurés à la pensée que cet espace était rempli d'un milieu semi-matériel « immobile » ; d'autres se sont contentés de se référer, sans plus de précision, à l'ensemble des étoiles ; les relativistes enfin ont essayé d'établir que le problème ne se posait pas, et qu'il n'y avait pas plus de repère absolu que de mouvements absolus.

Or, c'est là, selon nous, un exemple typique de problème mal posé. Qu'on se réfère en effet par la pensée aux positions initiales de repos de toutes les masses, et la question s'éclaire ; le repère naturel de tous les mouvements, dont on faisait un mythe ou qu'on

cherchait en vain dans l'actuel, on le trouve en recourant au passé, et cela sans réaliser l'espace ni faillir au principe relationniste, car des relations à distance dans le temps sont pour la pensée aussi admissibles que des relations spatiales instantanées, et même sont rendues nécessaires par la nature évolutive du réel.

Mais, pourquoi avoir négligé ou refusé de remonter ainsi dans le passé du Monde ; pourquoi avoir implicitement voulu réduire l'objet de la Physique à l'actuel, ou du moins à des relations temporelles à courte distance, comme s'il fallait que l'Univers objectif — qu'on n'oserait jamais réduire à la portée de nos yeux ni même de nos télescopes — se soit adapté à la brièveté de nos vies et à l'infirmité de nos mémoires ? Pourquoi, sinon pour obéir aux sollicitations d'un positivisme de mauvais aloi et plus ou moins avoué ?

Qu'il nous soit permis de voir dans cette erreur — car pour nous c'est une erreur en tout état de cause — une illustration de notre thèse, à savoir que le positivisme est une tendance dangereuse ; que, même si l'on accepte de s'en affranchir en principe, il faut toujours craindre d'y retomber dans les cas difficiles ; et que pour être sûr de rencontrer et de bien poser tous les problèmes il faut tendre toujours à élargir plutôt qu'à le rétrécir le champ des solutions possibles.

Mais si d'une part nous nous sommes rendu compte qu'un positivisme étroit risque de mutiler le réel, si d'autre part, tout en proclamant la nécessité de n'admettre comme objectives que les relations qui unissent des éléments réels de l'Univers, nous avons compris que ce relationnisme est compatible avec l'existence de termes et de rapports non-observables dont certains peuvent être objectivement privilégiés, nous voici en mesure d'apprécier à la lumière de ces principes la plupart des thèses de la nouvelle physique. C'est ce que nous allons faire dans la suite de cet article, considérant ces thèses une à une, et abstraction faite de l'appui mutuel qu'elles pourraient se prêter dans la théorie elle-même, et les jugeant chacune, en attendant mieux, du point de vue de l'*a priori*. Trop souvent on a voulu les présenter comme des vérités séparément nécessaires ; nos conclusions, dans la plupart des cas, seront bien différentes.

**140. A priori la nouvelle définition du temps ne s'impose pas. —**  
Les simultanités absolues de la Physique classique n'étaient pas



constatables directement, c'est vrai : mais elles étaient *a priori* parfaitement concevables ; et le fait qu'on avait pu, ou cru pouvoir, en les admettant, établir une théorie d'ensemble cohérente et conforme à l'expérience, constituait une preuve indirecte, par large induction, de leur objectivité ; preuve d'ailleurs très suffisante dans l'hypothèse.

Nous ne voulons pas dire que les simultanités absolues, avec le temps absolu qu'elles permettent de définir, sont vraies pour autant : mais nous disons qu'*a priori* rien n'exigeait qu'on les écartât, et que le postulat d'Einstein sur ce point, loin d'être dû à la découverte tardive d'une vérité incontestable, est une hypothèse comme les autres, hypothèse impossible à juger en elle-même et séparément, qui demande à être intégrée à une construction d'ensemble destinée à représenter le réel, et qu'on ne pourra juger qu'inductivement en tant qu'élément de cette construction.

**141. A priori le postulat du mouvement relatif au sens de Mach ne s'impose pas.** — Au début de son Mémoire de 1916 sur la théorie de la relativité générale, Einstein proclame cet axiome que la cause d'un fait, pour être vraiment cause, doit être en principe *observable* ; qu'autrement elle n'est qu'une cause fictive ; qu'en particulier le mouvement d'une masse fluide « par rapport à l'espace », invoqué par les classiques pour expliquer la forme ellipsoïdale de cette masse, n'est qu'une pseudo-cause, ne pouvant être observé ; et que la seule explication réelle de la déformation de la masse doit être cherchée dans les relations — entendez les relations *actuelles* — de cette masse avec l'ensemble des corps de l'Univers, ici dans le mouvement relatif de la masse et de ces corps.

C'est, implicitement, le principe du mouvement relatif sous ses deux aspects : négation de tout mouvement par rapport à l'espace, c'est-à-dire, puisque l'espace comme tel est vide, de tout mouvement dit absolu ; et refus de faire intervenir dans l'explication d'aucun phénomène d'autres mouvements que des mouvements relatifs.

Nous admettons tout à fait la critique formulée par Einstein à la suite de Mach contre l'idée d'un mouvement par rapport à l'espace, cela au nom de notre relationnisme ; mais nous refusons de suivre Mach et Einstein dans leur conclusion positiviste selon laquelle on ne saurait admettre la réalité d'un mouvement,

ni l'invoquer comme cause d'un phénomène, que s'il est défini relativement à des corps considérés dans leurs positions actuelles.

Notre théorie du système absolu  $\Sigma$  en effet, conçu comme rattaché aux positions initiales de repos de tous les corps, nous permet de rapporter tous les mouvements à ces positions passées, ce qui nous suffit pour conclure qu'*a priori* tout au moins il n'est nullement nécessaire que tous les mouvements puissent se définir relativement à des positions actuelles ; autrement dit que le principe du mouvement relatif au sens de Mach ne s'impose pas.

**142. A priori le postulat de l'équivalence complète de tous les systèmes de référence, loin de s'imposer, est inadmissible.** — De sa critique du mouvement absolu, toujours dans le Mémoire de 1916, Einstein déduit immédiatement ce corollaire que si l'on ne veut pas réintroduire des mouvements relatifs à quelque système abstrait privilégié dont le privilège serait inexplicable, « les lois de la physique doivent avoir un aspect tel qu'elles restent valables par rapport à des systèmes de référence se mouvant d'une façon quelconque » <sup>(1)</sup>.

Et il voit là une extension du postulat de relativité, c'est-à-dire une extension aux systèmes accélérés de ce que la théorie restreinte avait admis pour les seuls systèmes d'inertie.

On croirait bien, à lire ce passage, qu'Einstein souhaite vraiment proscrire tout privilège des systèmes d'inertie, effacer toute différence de forme des lois physiques — y compris les lois de mouvement — quand on passe des systèmes d'inertie à des systèmes accélérés quelconques ; bref, généraliser purement et simplement la théorie restreinte.

Nous savons bien qu'en réalité il ne pouvait raisonnablement formuler un tel souhait ; que sans le dire il donnait au principe général de relativité un autre sens qu'au principe restreint ; et que, comme la suite de son Mémoire allait le montrer, il ne s'agissait plus en somme que de découvrir certains éléments de l'Univers indépendants par nature de la façon dont on pouvait les étudier.

Toujours est-il que, comme si malgré tout il y avait quelque

---

<sup>(1)</sup> A. Einstein : *Les fondements de la théorie de la Relativité Générale*, trad. Solovine, A. 2, p. 10.

apparence qu'on pût le prendre à la lettre, le postulat a été énoncé par Einstein tel que nous venons de le dire. C'est ce postulat considéré en lui-même que nous voulons examiner ici.

Contre l'idée d'une équivalence de tous les systèmes de référence on peut invoquer d'abord cet argument de fait que les classiques ont toujours proclamé le privilège général des systèmes d'inertie en mécanique, et même, en optique et en E. M., le privilège spécial du système absolu ; et qu'Einstein lui-même dans sa théorie restreinte a dû reconnaître le privilège des systèmes d'inertie pour toutes les lois physiques. Certes, cette reconnaissance de certains privilèges ne se trouve imposée par les faits que si on les interprète d'une certaine manière, et c'est sans doute sur l'interprétation qu'on pourrait penser *a priori* faire porter la critique ; cependant il est difficile d'admettre qu'une thèse acceptée si unanimement pût être absurde.

Mais pour nous c'est de la portée intrinsèque de la thèse qu'il s'agit. On a souvent répété depuis Einstein cet argument : pourquoi les lois physiques dépendraient-elles du choix que nous faisons, nous, de tel ou tel système de référence ?

L'objection ainsi formulée est spécieuse ; mais elle cache une équivoque ; car il y a lois et lois. Que les lois qui concernent les éléments absolus de l'Univers objectif soient elles-mêmes nécessairement absolues, c'est-à-dire indépendantes des façons dont on les étudie, c'est incontestable, et nous allons dans un instant insister sur ce point ; mais que toutes les lois des phénomènes observables soient les mêmes aux yeux de tous les observateurs, non seulement ce n'est pas nécessaire *a priori*, mais c'est même impossible dès lors qu'il s'agit de lois concernant des grandeurs essentiellement relatives à un repère, comme sont les mouvements. Ceci est si manifeste qu'on pourrait formuler, en regard du principe de relativité, ou mieux d'invariance, qui nie la dépendance de certaines lois fondamentales par rapport aux systèmes de référence adoptés, un *principe de différence*, affirmant au contraire la dépendance par rapport au choix du système d'autres lois, lois secondaires si l'on veut, mais dont on ne saurait méconnaître l'existence, à savoir celles qui concernent les grandeurs essentiellement relatives.

C'est seulement aux lois de la seconde catégorie, en particulier aux lois de mouvement, que s'appliquait la thèse classique des



systèmes privilégiés ; c'est seulement aux lois de la première catégorie que peut s'appliquer le principe relativiste de l'équivalence de tous les systèmes. Vouloir appliquer ce principe à toutes les lois, proclamer, en d'autres termes, l'équivalence complète de tous les systèmes ne serait qu'une gageure ; pour s'en convaincre ne suffit-il pas de se souvenir qu'un même mobile ne saurait avoir exactement même mouvement par rapport à deux systèmes de référence ?

Aussi bien il est à croire que, la distinction une fois admise, classiques et relativistes reconnaîtraient aisément leur accord touchant l'existence, tout ensemble, de lois absolues et de lois relatives ; accord qu'il va nous être facile sans doute de mettre en évidence.

**143. Il existait déjà pour les classiques des lois fondamentales absolues ; il existe encore pour les relativistes des lois secondaires relatives.** — Pour nous faire mieux comprendre sur ce point capital, utilisons les distinctions que nous avons établies précédemment au sujet des grandeurs : au n° 42, nous avons classé les grandeurs physiques en trois catégories : 1° les grandeurs *intrinsèques*, comme la masse d'un corps : elles sont, du moins chez les classiques, absolues ; 2° les grandeurs *relationnelles à termes invariants*, comme la distance de deux particules à un instant donné : elles aussi sont absolues pour les classiques ; 3° les autres grandeurs *relationnelles*, comme la vitesse d'un mobile par rapport à tel ou tel système de référence : celles-ci sont essentiellement relatives. Au point de vue de leurs mesures, supposées faites toujours avec les mêmes unités, les deux premières sortes de grandeurs sont invariantes ; les autres ne le sont pas.

Ajoutons une remarque : nous avons défini nos grandeurs intrinsèques de façon stricte, les considérant toujours comme des déterminations quantitatives de certains êtres physiques concrets ; or il arrive qu'une théorie physique admette l'existence au moins virtuelle de certaines grandeurs invariantes, définies par exemple en tout point de l'espace, même en l'absence de support matériel ; c'est le cas du potentiel newtonien. Dans ce qui suit nous ne ferons pas de différence entre ces nouvelles grandeurs invariantes et les vraies grandeurs intrinsèques. Au besoin nos deux autres définitions admettraient des extensions analogues.

Cela posé nous allons pouvoir assez aisément sans doute classer les lois physiques, aussi bien classiques que relativistes, en lois absolues et lois relatives.

Considérons des grandeurs classiques invariantes : masses, distances entre deux masses ponctuelles à tel instant, forces liant les masses deux à deux, etc. Elles peuvent être définies en elles-mêmes, de façon absolue, c'est-à-dire sans le recours à des axes coordonnés. De plus elles peuvent être unies par des relations elles-mêmes absolues, c'est-à-dire encore établies directement entre les grandeurs considérées. Nous dirons que de telles relations sont des *lois absolues*.

La loi de force de Newton, qui établit une relation générale entre les grandeurs de deux masses, le carré de leur distance et la double force d'attraction qui s'exerce entre elles, est une *loi absolue*. Supposons qu'au lieu d'exprimer les forces explicitement en fonction des distances mutuelles des masses on les exprime en fonction des positions de ces masses rapportées à des axes ; alors la formule de la loi variera suivant les axes choisis ; mais le fait ici essentiel que la force est en raison inverse du carré de la distance et dirigée d'une masse vers l'autre demeurera toujours vrai ; nous dirons que la *formule* de la loi de Newton au moyen d'axes est *covariante*.

La théorie classique du potentiel concerne aussi des absolus : elle met en œuvre, en plus des masses et de leurs distances aux différents points de l'espace à un instant donné, une grandeur scalaire elle-même invariante et définie en tout point, le potentiel. Laplace et Poisson introduisent une fonction de ce potentiel, le laplacien, qui est à son tour un invariant et qui se trouve lié par une relation absolue à la densité de la matière au point considéré. C'est encore ici une loi absolue ; sans doute étant une loi différentielle elle ne peut plus être utilisée comme celle de Newton sans recours à des axes, et l'expression des grandeurs en jeu dans la loi varie suivant les axes choisis, mais, nous le savons, la formule de la loi en coordonnées quelconques est encore covariante (n° 99).

Dans la théorie de la gravitation d'Einstein, inspirée avons-nous dit de la théorie classique du potentiel, les éléments de la loi changent de nature : au lieu d'un potentiel et d'une fonction de ce potentiel qui soient des scalaires, on a affaire à des ten-

seurs ; au lieu de définir ces tenseurs en tout point de l'espace pur, on les définit en tout « point » de l'E. T. ; les relations imposées à ces grandeurs sont dites tensorielles, comme les relations classiques, imposées à des invariants, pouvaient être dites « invariantes » ; mais la loi qu'elles expriment n'est ni plus ni moins absolue que les lois de Laplace et Poisson ; et sa formule en fonction de coordonnées d'E. T. quelconques n'est ni plus ni moins covariante que les formules classiques ; elle ne fait qu'affirmer toujours la même relation entre des éléments dont l'expression seule varie suivant les coordonnées.

On le voit, au sujet de l'existence de lois absolues et covariantes, il n'y a rien d'essentiellement nouveau dans la théorie d'Einstein.

Revenons à la loi de Newton : ce n'est pas le tout d'avoir établi une loi de force ; il faut en déduire les *mouvements* des masses gravitantes. Newton le fait en appliquant aux forces de gravitation la loi fondamentale de sa dynamique :  $\gamma = \frac{f}{m}$ . Soient donc deux masses ponctuelles,  $M$  et  $m$ , et  $r$  leur distance ; leur attraction mutuelle est  $f = G \frac{Mm}{r^2}$  ; et l'accélération de  $m$  par exemple est  $\gamma_m = \frac{GM}{r^2}$ .

C'est ici une autre loi, celle du mouvement des masses gravitantes. Est-elle encore absolue et covariante ? — Absolue, oui, au sens que nous allons préciser : covariante, non.

Ne considérons que nos deux masses  $M$  et  $m$  ; autrement dit supposons-les seules au monde ; et supposons que nous les considérons à partir du moment même où elles ont commencé d'exister, et de s'attirer ; nous admettrons encore pour simplifier que leurs vitesses initiales par rapport à la droite qui joignait leurs positions initiales  $P_M$  et  $P_m$  étaient nulles. Dès lors ces positions initiales se présentent à nous comme des positions de repos absolu, c'est-à-dire que nous n'avons *aucune raison* d'attribuer à notre droite  $P_M P_m$  un mouvement quelconque. Donc les accélérations de nos masses — et même leurs vitesses — seront dirigées suivant cette droite, déterminée par les seules positions initiales.

Comme ces positions sont dans le problème des éléments purement intrinsèques, nous pouvons dire que la loi de mouvement



ainsi présentée est elle-même « absolue ». Le procédé s'étend sans difficulté au cas de plusieurs masses ; et c'est précisément celui qui nous a conduits à la définition du système absolu  $\Sigma$  pour le repérage des mouvements de tous les corps de l'Univers.

Maintenant, si au lieu de nous référer dans le cas de nos deux masses à la droite qui joignait leurs positions initiales — ou dans le cas général au système  $\Sigma$ , qui en fait nous est inaccessible, — nous voulons rapporter nos mouvements à des systèmes de référence quelconques, la loi de ces mouvements sera-t-elle encore absolument covariante ? — Non. Cette loi concerne en effet des accélérations que nous venons de définir par rapport à  $\Sigma$  ; or quand un mobile a telle accélération relativement à  $\Sigma$ , il a bien la même accélération relativement à tout système qui par rapport à  $\Sigma$  est en translation r. et u., c'est-à-dire relativement à n'importe quel système d'inertie ; mais le même mobile a par rapport à des systèmes accélérés des accélérations autres ; donc la loi ne sera pas valable pour des systèmes accélérés. On ne pourra pas en donner une formule absolument covariante, si toutefois l'on s'impose de respecter la loi de la dynamique  $\gamma = \frac{f}{m}$ , c'est-à-dire de rattacher les mouvements aux forces par cette relation qui du point de vue de  $\Sigma$  est elle-même absolue.

Voilà donc établis du même coup le privilège des systèmes d'inertie pour la loi des mouvements de gravitation, et la non covariance de cette loi par rapport à un choix quelconque du système de référence. Mais ceci ne serait-il pas particulier à la loi de Newton ? — Nullement : si l'on veut déduire les mouvements de gravitation de la loi de Laplace, il faut aussi se référer à un système d'inertie pour que ces mouvements dérivent selon la loi fondamentale des forces déduites du potentiel.

Dans la théorie d'Einstein on pourrait penser que la loi de mouvement n'est pas moins absolue que celle du champ, puisqu'elle a son expression dans les équations des géodésiques, qui sont tensorielles. Erreur ; car c'est ici seulement la loi des déplacements spatio-temporels des particules gravitantes, non celle de leurs mouvements — au sens généralisé — ; et, nous l'avons vu dans le cas de Schwarzschild, si l'on veut déduire de la courbure de l'E. T. et de la loi des géodésiques le mouvement généralisé d'une masse gravitante, il faut se référer à un système d'inertie

— au sens généralisé — lié à la masse  $M$  pour que le mouvement obtenu soit un pur mouvement de gravitation.

Ainsi pas plus dans la nouvelle théorie que dans l'ancienne la loi des mouvements de gravitation n'est covariante. Elle est relative au choix du système de référence, ou au choix correspondant des coordonnées d'E. T. ; et parmi ces systèmes certains sont privilégiés, en ce sens que c'est seulement par rapport à eux que les mouvements décrits sont de purs mouvements de gravitation.

Et qu'on ne dise point que les notions de ligne d'Univers et de déplacement spatio-temporel remplacent dans la théorie d'Einstein la notion de mouvement, et la rendent inutile, si bien que les lois que nous avons appelées relatives se trouveraient automatiquement exclues de la nouvelle physique ; il n'en est rien, car ces déplacements spatio-temporels, qu'il faudrait rapporter en toute rigueur à l'ensemble total des événements, sont au moins aussi inaccessibles à nos observations que les mouvements classiques relatifs à  $\Sigma$  ; aussi faut-il absolument, si l'on veut faire de la physique humaine, et contrôler la théorie, traduire les déplacements en mouvements généralisés, dont les lois sont nécessairement relatives.

On sera peut-être tenté de dire encore : il n'y a aucune nécessité que les mouvements de gravitation classiques soient rattachés à la loi de force de Newton par la relation absolue  $\gamma = \frac{f}{m}$  ; ni que les mouvements généralisés d'Einstein apparaissent comme de purs mouvements de gravitation, déterminés uniquement par la courbure de l'E. T. ; car si l'on se borne ou si l'on revient à la considération des mouvements, on peut évidemment se référer pour les décrire à des systèmes quelconques : toujours on pourra faire entrer dans leurs équations générales assez d'éléments indéterminés pour que ces équations soient valables dans tous les systèmes.

Il n'y a dans cette remarque rien de nouveau : on sait bien que du point de vue de la cinématique pure les mouvements sont essentiellement relatifs et peuvent se décrire, plus ou moins simplement il est vrai, par rapport à un système quelconque. Mais se contenter d'une description des mouvements qui ne tiendrait aucun compte des conditions dans lesquelles ils se produisent, ce

serait s'interdire de parler même de mouvements de gravitation ; des deux objets de la Physique ce serait cette fois oublier le premier, et méconnaître les lois fondamentales pour se contenter de décrire les phénomènes observables qui en dérivent.

On le voit bien, de quelque façon qu'on retourne la question, il y a accord des deux théories quant à l'existence de lois relatives en même temps que de lois absolues. Et l'accord se poursuit même dans le domaine des explications fictives : si au lieu de n'expliquer les mouvements classiques de gravitation que par des forces d'attraction réelles nous nous payons le luxe de les expliquer d'une manière mi-réelle mi-fictive en joignant aux forces réelles des forces fictives d'inertie appropriées, nous pourrions donner à la loi des mouvements une forme covariante : pour nous borner au cas des systèmes sans rotation, nous dirons : un point matériel gravitant de masse  $m$  subit toujours une accélération égale au quotient par  $m$  d'une force  $F$ , résultante de la force réelle de gravitation  $f$  et d'une force  $f'$  qu'on obtiendra en multipliant par  $m$  l'accélération changée de signe du système de référence adopté. La covariance d'une telle loi consisterait en ce que  $f'$  varierait d'un système à un autre, et même, dans le cas d'un système d'inertie quelconque, s'annulerait, de telle manière que la loi énoncée soit toujours satisfaite. L'analogue de ceci dans la théorie d'Einstein, quand on y revient à la considération des forces, des mouvements généralisés et des systèmes de référence, consiste, nous l'avons dit, dans l'adjonction au champ de gravitation permanent d'un champ « géométrique » variable avec le système adopté, et aussi fictif que les forces d'inertie. Mais précisément le recours à des éléments fictifs, dans les deux cas, ne fait que mettre en évidence la non-covariance des lois de mouvement quand on veut vraiment les expliquer.

Pour achever le parallèle autant que possible, revenons encore au privilège du système absolu  $\Sigma$ . Pour l'esprit qui évoque le passé,  $\Sigma$  est un véritable système de référence ; mais c'est un système qui présente sur tous les autres, même sur les autres systèmes d'inertie, l'avantage de n'être en aucune façon arbitraire ; de n'introduire dans le problème aucun élément extrinsèque, d'éliminer tout mouvement parasite des masses, aussi bien vitesse qu'accélération. Et ceci va nous permettre de préciser encore notre façon de voir sur les relations entre systèmes de



référence, ou plus généralement systèmes de coordonnées, et réalités objectives.

Il y a, dirons-nous, des systèmes naturels, intrinsèques et par là même absolument privilégiés ; tellement privilégiés que des grandeurs pourtant essentiellement relatives, comme les mouvements, ont elles-mêmes une valeur absolument privilégiée quand on les rapporte à ces systèmes, et doivent en ce sens être qualifiées alors d'absolues. Le système  $\Sigma$  est le type de ces systèmes naturels et privilégiés ; son analogue en géométrie pure serait, dans le cas de figures construites suivant une loi déterminée, l'ensemble des points qui ont servi de base pour la construction, le plan et le centre pour le cercle, le plan et les deux foyers pour l'ellipse. Dans la théorie d'Einstein l'analogue de  $\Sigma$  serait l'ensemble des événements relatifs aux masses créatrices du champ — à la masse  $M$  dans le cas de Schwarzschild — et un système d'inertie lié à ces masses. Quant à distinguer ces systèmes naturels des autres, voici comment on peut le faire : le choix d'un système entraîne toujours pour telle ou telle grandeur relative une valeur de fait privilégiée ; par exemple une accélération, ou bien une accélération et une vitesse, *nulles* pour telle masse. Le signe que le système n'est pas naturel sera qu'on ne peut justifier ces valeurs privilégiées par aucun caractère propre des grandeurs qui les présentent : ce sera par exemple un groupe d'astres quelconques dont le centre de gravité aura une vitesse constante ou nulle. Au contraire, si le système est naturel les grandeurs qui relativement à lui auront des valeurs privilégiées présenteront *par ailleurs* des caractères intrinsèques aptes à rendre compte du privilège : ainsi ce sera le centre de gravité de tout l'Univers qui aura une vitesse nulle, signe cette fois qu'on se sera référé au système absolu  $\Sigma$ . De même, dans la théorie d'Einstein, le privilège réel des coordonnées de Schwarzschild, qui se manifeste par la simplicité plus grande du  $ds^2$  et de toutes les formules, a pour garantie le fait que l'espace  $r, \theta, \varphi$ , par rapport auquel la masse  $M$  est immobile au cours du temps  $t$ , deviendrait à distance très grande de  $M$  un système d'inertie.

En tout cas une fois discernés les systèmes naturels, et ceux qui participent à leur privilège, on peut dire d'une façon générale que c'est relativement à ces systèmes privilégiés que les

phénomènes sont *normaux* et s'expliquent immédiatement, tandis que relativement aux autres systèmes les phénomènes sont *déformés* et ne s'expliquent qu'en deux temps, d'une part par les lois objectives, d'autre part par le caractère arbitraire du système adopté.

Vouloir ignorer ou prétendre dissimuler les privilèges des premiers systèmes quand les théories antérieures les ont mis en évidence serait un recul. Chercher à purifier la réalité objective de ce que l'usage inconsidéré des seconds systèmes y introduirait d'arbitraire, cela seul est ici un progrès. Les relativistes se sont trop souvent exprimés comme s'ils méconnaissaient des privilèges réels ; trop souvent aussi ils ont cru à tort ou paru croire qu'ils étaient les premiers à vouloir atteindre l'absolu dans sa pureté objective.

**144. Les mouvements classiques de gravitation ont été présentés par Elie Cartan comme des déplacements spatio-temporels géodésiques obéissant à une loi covariante.** — Soit une loi de mouvement au sens ordinaire : elle est de sa nature non-covariante. Mais supposons qu'on sache l'exprimer en langage spatio-temporel, et la transformer en une loi de déplacement géodésique, les géodésiques qui déterminent les déplacements étant celles d'un E. T. approprié : sous sa forme nouvelle la loi sera nécessairement covariante, puisque les géodésiques d'un E. T. sont des données absolues. C'est de cette façon déjà que la loi classique d'inertie « géométrisée » par Minkowski était devenue covariante par rapport à un changement quelconque des coordonnées de l'E. T. galiléen.

Cartan a cherché à présenter comme des déplacements géodésiques les mouvements de gravitation newtoniens, et, corrélativement, à déterminer la structure d'un E. T. correspondant à la gravitation classique.

Pour donner une idée de la méthode et de la théorie de Cartan, disons d'abord comment les choses se présentent du point de vue de la cinématique ordinaire : soit un point matériel soumis à la loi de Newton ; son mouvement aux yeux d'un observateur lié toujours à un même système d'inertie est accéléré. Mais à un instant donné quelconque,  $t$ , il a par rapport à tel système d'inertie  $S$  une certaine vitesse constante,  $u$  ; et si à un autre instant  $t + dt$

sa vitesse par rapport à  $S$  a changé, on peut toujours définir un autre système d'inertie  $S'$  relativement auquel il a encore la même vitesse  $u$  : et il en est de même aux instants suivants. Cela posé, il est clair que si l'on connaissait la loi suivant laquelle diffèrent de vitesse, de proche en proche, les systèmes d'inertie  $S$ ,  $S'$ ... etc., par rapport auxquels le point gravitant conserve dans chacun des petits intervalles successifs de son mouvement la même vitesse on connaîtrait équivalement son accélération elle-même <sup>(1)</sup>.

Or il existe en géométrie riemannienne l'analogue d'une telle loi : étant donné en effet le  $ds^2$  d'une surface par exemple on peut obtenir, sous la forme d'une expression où entrent les dérivées premières des  $g_{\mu\nu}$  — et qu'on appelle la *connexion* de la surface — la loi suivant laquelle diffèrent d'orientation des axes rectilignes tangents aux coordonnées choisies quand on passe d'un point quelconque à un autre point très voisin. Et c'est là précisément l'analogue de la loi dont nous parlions, car ce qui correspond dans l'E. T. à des axes rectilignes de l'espace pur dont on compare les orientations, ce sont des systèmes d'inertie dont on compare les vitesses.

Voici donc comment le problème se précisait pour Cartan : étant postulé qu'un point matériel soumis à la gravitation classique a pour ligne d'Univers une géodésique d'un certain E. T., déterminer la connexion de cet E. T., de manière qu'elle impose aux systèmes d'inertie locaux et éphémères qui se succèdent le long d'une géodésique quelconque des variations de vitesse compensatrices de l'accélération de gravitation.

Mais, nous venons de présenter la connexion comme déduite des  $g_{\mu\nu}$ , ce qui supposerait un E. T. à  $ds^2$ , comme celui d'Einstein ; or, du point de vue classique, le temps est absolu, et il n'y a pas de vitesse invariante, ni par suite de  $ds^2$  : la notion de connexion n'est-elle pas exclue du même coup ? — Nullement, car on peut se donner immédiatement la connexion, propriété qui est relative au parallélisme comme le  $ds^2$  était relatif à la métrique ; c'est ce que l'on fait en « géométrie affine ». Du

---

<sup>(1)</sup> E. Cartan : *Sur les variétés à connexion affine et la théorie de la relativité générale*. Dans : Annales scientifiques de l'École Normale supérieure (3), XL (1923), p. 329-333.



reste, s'étant donné la connexion, on peut en déduire la courbure de la même manière qu'en géométrie métrique ; et comme ici encore la courbure, qui est un tenseur, ne dépend plus du choix des coordonnées, alors que la connexion en dépendait, c'est toujours par la courbure qu'on peut caractériser de façon absolue un espace, ou un E. T.

Cartan suppose donc qu'un E. T. à connexion affine répond aux données du problème ; et il se propose de le déterminer parmi tous les E. T. de ce genre. Pour cela, considérant le cas où l'E. T. est décomposé en espace et en temps à la façon habituelle, il découvre aisément pour ce cas les composantes de la connexion, puis en déduit celles de la courbure ; et c'est au moyen de relations absolues concernant ces composantes de la courbure qu'il cherche à exprimer la loi du champ de gravitation. Il parvient à écrire trois de ces relations, dont il démontre qu'elles suffisent à caractériser l'E. T. cherché, parce qu'elles entraînent l'existence, en tout point de l'espace, d'un potentiel qui obéit à la loi de Poisson et qui s'annule à distance infinie de toute masse <sup>(1)</sup>.

Voilà donc la loi de gravitation classique mise sous forme covariante ? — Oui ; mais grâce à la substitution aux mouvements de gravitation de déplacements géodésiques. Si l'on revient à la considération de ces mouvements, ce qui suppose que l'on revienne aussi à l'emploi du même système de référence pour une phase étendue du mouvement étudié, la loi de ce mouvement ne sera plus covariante ; si l'on veut obtenir des mouvements qui soient de purs mouvements de gravitation, il faudra choisir des coordonnées d'E. T. équivalentes à l'usage d'un système d'inertie ; corrélativement, le champ qui dans le cas général a parmi ses composantes des forces identiques aux forces d'inertie classiques apparaîtra, avec ces coordonnées privilégiées, sous forme simplifiée, et sera réduit aux seules forces classiques réelles.

**145. Une Physique humaine ne saurait être relativiste au sens d'Einstein qu'en négligeant la moitié de son objet.** — Notre distinction entre lois absolues et lois relatives, distinction qui en fait recouvre à peu près la distinction entre l'Univers objectif et l'Univers observable, met en évidence une fois de plus le double objet de la Physique.

<sup>(1)</sup> *Ibidem* (3), XLI (1924), p. 1-7.

Il ne suffit pas au physicien de connaître les lois absolues ; du moins la physique *humaine* a d'autres exigences, qu'un physicien à tendances positivistes surtout serait impardonnable de méconnaître ; le relatif en effet encombre nécessairement pour nous le donné expérimental, et l'on ne saurait éluder la question de ses rapports avec l'absolu. Si ces rapports n'obéissaient pas eux-mêmes à des lois, si en conséquence le relatif à son tour était dépourvu de toute régularité, on devrait peut-être l'exclure systématiquement, bien qu'à regret, de la science. Mais il n'en est pas ainsi : les rapports entre les aspects relatifs de l'Univers et ses éléments absolus, les rapports de ces aspects relatifs entre eux, tout cela est bel et bien ordonné, et constitue un objet d'étude non pas autonome certes, mais complémentaire de la réalité absolue. En particulier l'existence de certains systèmes privilégiés entraîne que des grandeurs pourtant relatives, comme les mouvements, soient liées, quand on les rapporte à ces systèmes, par des relations elles-mêmes privilégiées, qui sont de véritables lois objectives, mais des lois valables seulement dans les dits systèmes, et non-covariantes.

Or nous avons reconnu qu'Einstein avait raison — sans avoir d'ailleurs véritablement innové sur ce point — de soumettre les lois concernant les grandeurs absolues au principe de « relativité », c'est-à-dire d'invariance ; mais il faudrait qu'une théorie se borne strictement à l'étude de l'absolu pour satisfaire entièrement au principe : dès qu'on aborde le second objet de la Physique, et c'est indispensable au moins pour le contrôle des théories, on se heurte inéluctablement au double fait du privilège de certains systèmes et de l'altération de certaines grandeurs ou de la déformation de certains phénomènes pour les observateurs non-privilégiés ; c'est-à-dire à l'existence de lois d'un autre genre qui contrairement au principe sont dépendantes du système adopté.

**146. Rien n'impose a priori l'hypothèse d'une géométrie d'Univers.** — Il y a sûrement un Univers objectif dont les lois sont indépendantes de nos façons de l'observer et par là absolues. S'il n'y avait pas moyen de concevoir les éléments de cet Univers objectif autrement que sous forme « géométrique », et l'Univers lui-même autrement que sous forme d'E. T., il serait nécessaire *a priori* d'admettre une géométrie d'Univers.

Mais un monde objectif peut très bien n'être pas de nature spatio-temporelle au sens d'Einstein ; il peut par exemple consister en éléments qui soient simplement des scalaires ou des vecteurs définis dans l'espace pur, à chacun des instants d'un temps universel. C'était le cas de l'Univers classique ; et nous avons vu que l'Univers des classiques était aussi absolu en soi que peut l'être celui d'Einstein.

En somme, dans la conception relativiste de l'Univers physique il y a deux choses : l'affirmation que cet Univers comporte nécessairement des éléments et des lois absolues ; idée juste à coup sûr, et qu'Einstein a fortement mise en relief, mais qui n'est pas nouvelle ; puis l'hypothèse que cet Univers est de nature spatio-temporelle ; idée nouvelle, cette fois, mais qui *a priori* est bien loin de s'imposer.

**147. Rien n'exige *a priori* qu'on exprime les phénomènes au moyen d'une théorie de champ** <sup>(1)</sup>. — On peut dire que dans la physique relativiste triomphent partout les théories de champs : théories du champ é. m., dont les équations lui ont servi de point de départ, du champ des milieux continus, au moyen duquel elle étudie les phénomènes mécaniques, du champ de gravitation, du champ unitaire dont dépendraient à la fois la gravitation et l'électricité, etc.

Ces théories de champs s'opposent aux théories relationnistes au sens strict, c'est-à-dire à celles qui n'établissent de relations qu'entre des éléments concrets, discontinus et en nombre fini, soit directement observables, comme les astres ou les corps terrestres, soit conçus sur le modèle des corps observables, comme les particules matérielles de tout ordre. Les théories de la gravitation de Newton, des attractions moléculaires et de l'élasticité de Laplace, Poisson, Lamé, de l'électricité de Wéber, de l'optique vibratoire de Cauchy, étaient autant de théories strictement relationnistes. Comment s'y opposent les théories de champs ?

---

<sup>(1)</sup> Il est très mal commode de n'avoir aucun *adjectif* pour désigner ces sortes de théories. Nous nous permettons de proposer ici, sans oser l'employer nous-même, l'adjectif *campique*, dérivé de *campus* comme par exemple *cubique* de *cubus*. Le cas échéant, ce mot serait facile à transcrire dans d'autres langues.



D'abord elles substituent la continuité à la discontinuité, étudiant ce qui se passe en *tout* point de l'espace, même vide, ou de l'E. T. ; par le fait, les relations qu'elles établissent — car bien entendu le principe relationniste fondamental qui exige partout des termes et des rapports est inéluctable — peuvent concerner des termes qui n'ont un sens que dans la théorie elle-même, et dont rien en dehors de cette théorie ne garantit l'existence actuelle : c'est le cas du potentiel newtonien, des vecteurs électrique et magnétique de Maxwell, du tenseur  $E_{\mu\nu}$  d'Einstein, etc.

Il est vrai qu'on peut interpréter de deux façons ces termes et les relations qu'ils supportent : on peut n'y voir que des abstractions commodes, ou si l'on veut de simples virtualités, qui servent à exprimer ce qui se passera effectivement en tel point dès qu'une particule matérielle s'y trouvera ; c'est sans doute ainsi que Laplace et Poisson interprétaient leur potentiel de gravitation, et le potentiel électrique. Dans ce cas la théorie du champ est simplement le substitut mathématique, sous forme continue, de la théorie discontinue ou relationniste correspondante, et nous ne voyons rien à y objecter.

Mais on peut aussi prétendre *réaliser* le champ, considérer comme effectivement donnés en tout point de l'espace même vide, ou de l'E. T., les grandeurs qui le constituent, avec leurs rapports. Dès qu'on eut renoncé à l'existence du fluide éther, c'est sous cette forme réaliste qu'on dut se représenter le champ é. m., et c'est de la même manière sans doute que les relativistes envisageraient de préférence l'E. T., ses tenseurs et leurs relations.

Cette interprétation réaliste est-elle acceptable en soi ? — Peut-être, encore qu'une réalité physique aussi différente de tout ce que nous percevons soit difficile à concevoir, et ses variations encore plus. En tout cas il ne faudrait pas sous-estimer les difficultés qu'elle entraîne.

D'abord c'est risquer de s'écarter par trop de l'observable que d'admettre des réalités à ce point problématiques : une théorie relationniste peut se tromper au sujet des relations qu'elle établit ; elle a toujours la ressource, en cas d'échec, de conserver les anciens termes dans la mesure où ils sont indépendants des relations supposées et où leur existence est prouvée par ailleurs, et de concevoir autrement leurs rapports. En cas de faillite d'une

théorie de champ ce sont à la fois les termes et leurs relations qui s'évanouissent.

Ensuite s'il est commode au point de vue mathématique de se représenter la réalité physique comme rigoureusement continue, et le champ comme s'étendant à l'infini, il faut bien avouer que la thèse continuiste et la thèse infinitiste sont ici comme ailleurs passablement obscures.

Enfin, si les relations admises par telle théorie de champ présentent une certaine complication, il peut devenir extrêmement difficile, sinon impossible, de traiter les problèmes les plus simples, par exemple de traiter dans la théorie d'Einstein le problème des deux corps supposés de masses du même ordre <sup>(1)</sup> : influence du déplacement des masses sur le champ et des variations du champ sur le déplacement des masses, tout cela s'enchevêtre au point de paraître inextricable, au grand dommage de notre pensée qui ne comprend guère que ce qu'elle a construit pas à pas, à l'aide des mêmes relations élémentaires établies successivement entre des termes de plus en plus nombreux.

Nous ne prétendons pas faire de ces difficultés des objections péremptoires contre les théories de champs. Elles nous invitent cependant à réfléchir sur la valeur objective de telles théories, et à tout le moins pouvons-nous conclure, ne serait-ce qu'en raison de l'existence et de la réussite de certaines théories relationnistes, en particulier la mécanique newtonienne, qu'une physique complètement relationniste, où il ne serait jamais question de champ, sinon peut-être du point de vue de la description macroscopique des phénomènes, n'est pas *a priori* impossible.

**148. Aucune des objections de principe contre la conception classique n'est décisive.** — Einstein et ses disciples se sont plu à relever dans la conception classique des lacunes, des obscurités, voire des tares, dont leur propre conception est ou serait exempte. Rassemblons ici leurs objections et voyons ce qu'elles valent.

Les deux tares de la physique classique seraient les actions instantanées à distance et le recours à l'espace absolu. Nous ne pouvons que répéter ici ce que nous avons dit ailleurs de ces

---

(1) Sur ce problème voir surtout G. Darmais : *Les équations de la gravitation einsteinienne*. Paris, 1927.

prétendues « actions » à distance. Pour nous ce sont simplement des forces à distance, c'est-à-dire une *solidarité* qui exige que des masses éloignées les unes des autres se meuvent en dépendance de leurs grandeurs et de leurs distances mutuelles <sup>(1)</sup> ; solidarité qui ne suppose en soi aucun délai de transmission, et qui est parfaitement concevable du point de vue relationniste. D'ailleurs, à part l'instantanéité, n'est-ce pas, au fond, une solidarité du même genre qui dans la théorie d'Einstein détermine les déplacements spatio-temporels des masses gravitantes ? Ne faudrait-il pas réaliser au sens fort l'E. T., faire de ses tenseurs des êtres physiques capables de remplir effectivement le vide et de s'y déformer, et de ses géodésiques des espèces de glissières, pour échapper à cette conclusion qu'en fin de compte ce sont les masses elles-mêmes et elles seules qui « s'obligent » mutuellement à graviter, selon une autre loi que celle de Newton ?

Quant à l'espace absolu, nous l'écartons nous aussi, et c'est encore notre relationnisme qui nous y contraint ; mais ce n'est pas pour tomber en matière de repérage des mouvements dans le relativisme an-archique, c'est — nous l'avons assez expliqué — pour retrouver les anciens mouvements absolus sous la forme de mouvements relatifs à un système réel absolument privilégié, le système  $\Sigma$ . De ce point de vue les problèmes qui ont arrêté Mach et Einstein nous paraissent susceptibles d'une solution satisfaisante : selon nous ce n'est ni par rapport à l'espace, ni en toute rigueur par rapport aux étoiles, qu'il faut dire que tournent le seau de Newton dont l'eau se creuse, ou la masse fluide d'Einstein qui devient ellipsoïdale : c'est, en toute hypothèse, relativement à des axes liés aux positions absolument premières de toutes les masses existantes, c'est-à-dire relativement au système  $\Sigma$ . Or, bien loin de regarder comme une tare en physique le fait d'accorder un privilège absolu au dit système, nous osons dire que si une théorie nouvelle venait à s'établir sur la reconnaissance explicite de ce privilège, un tel point de départ ne pourrait être pour elle qu'un surcroît d'intelligibilité.

Il y aurait en outre une lacune grave dans la théorie newto-

---

(1) C'est exactement l'idée que Mach exprime par exemple dans *La Connaissance et l'Erreur*. Traduction Dufour, 1 vol., Paris 1908, ch. X, p. 185.



nienne de la gravitation : cette théorie, dit-on, postule sans en rendre compte l'égalité de la masse pesante et de la masse inerte d'un corps quelconque, tandis que dans la théorie nouvelle, où la gravitation n'est qu'une généralisation de l'inertie, l'égalité des deux masses — ou plutôt leur identité — va de soi. Avant de répondre précisons qu'il y aurait quatre masses à distinguer : la masse *inerte*, qui tient pour Newton à la constitution du corps, et qui se manifeste dans les effets d'inertie ; la masse *dynamique* en général, qui résiste aux forces et a pour mesure le quotient de la force par l'accélération ; la masse *pesante* qui résiste à l'attraction gravitationnelle subie ; enfin la masse *attirante*, qui exerce l'attraction. Newton en énonçant sa loi de force affirme l'égalité de la masse attirante et de la masse pesante ; faisant de l'attraction, et en particulier du poids, une force comme les autres, il ne peut concevoir que comme égales ces deux masses et la masse dynamique. Reste à expliquer l'égalité de la masse dynamique et de la masse inerte : elle n'a pour nous rien d'étrange. Nous nous représentons très bien, en effet, d'un point de vue un peu anthropomorphique, mais, sous cette réserve, légitime, l'Ordonnateur du Monde voulant, après avoir établi des masses de diverses grandeurs, les soumettre à des forces, et décidant, *parce que c'est le plus simple*, que, quelles que soient les forces appliquées, les accélérations subies seraient toujours inversement proportionnelles aux grandeurs mêmes des masses, sans aucun autre coefficient pouvant varier d'un cas à un autre <sup>(1)</sup>.

Enfin, dernière objection, l'Univers classique est illimité et infini dans l'espace, et l'énergie rayonnante ne peut que s'y dissiper ; tandis que l'Univers d'Einstein, est, comme la surface d'une sphère, sans frontières, mais fini ; d'où la limitation nécessaire de sa masse globale, et surtout le maintien de son énergie dans un volume fermé sans dissipation possible.

Que l'espace abstrait dans lequel on dit qu'est plongé l'Uni-

---

(1) Dans la théorie d'Einstein il y a égalité de la masse inerte et de la masse pesante, ou plutôt gravitante, d'après la loi de gravitation elle-même. Y a-t-il aussi égalité de ces deux masses et de la masse dynamique (par exemple dans le cas d'une force électrique) ; et aussi de la masse créatrice du champ ? Cette dernière question au moins n'est pas simple et ne comporte pas de réponse rigoureuse. Voir Eddington. *Espace, Temps et Gravitation*. Traduction Rossignol. Partie théorique. Section IV, p. 102.

vers classique soit illimité et « infini », nous l'admettons : mais que l'Univers réel lui-même soit infini, notre finitisme se refuse à l'admettre ; aussi n'avons-nous à redouter ni les obscurités ni les difficultés de la thèse infinitiste quant au nombre et à la grandeur des masses, et quant aux dimensions du monde réel. Reste la question d'une dissipation possible de l'énergie rayonnante vers l'extérieur d'un monde ouvert : nous avouons qu'ici il y a vraiment un gros problème ; peut-être cependant — comme nous l'indiquerons plus loin — serait-il susceptible d'une solution satisfaisante dans le cadre classique.

La théorie relativiste a pour elle des arguments positifs de plus d'une sorte ; ce sont sûrement les plus solides, et — c'est ce qui ressort croyons-nous des réflexions qui précèdent — ses partisans auraient tort de trop insister sur les objections que nous venons d'examiner, et de prétendre en faire à la fois des arguments péremptoires contre la théorie classique et des arguments positifs en faveur de leur propre doctrine.

**149. Même si la théorie relativiste est vraie, sa base philosophique et critique est fragile.** — Contester la valeur des principes philosophiques ou de certains postulats formels d'une théorie physique, ou réduire la portée de ses griefs contre les théories rivales, ce n'est pas pour autant avancer qu'elle est fausse dans son contenu positif et vérifiable : on a déjà vu des lois exactes être découvertes à partir d'hypothèses fondamentales controuvées ou contestables ; que l'on songe par exemple à l'extraordinaire fécondité de l'hypothèse de l'éther en optique. D'autre part, il est humain, quand on a découvert par induction une théorie satisfaisante et que les faits confirment ou semblent confirmer, de la présenter comme la conséquence de principes généraux qu'on se plaît à considérer comme évidents ; il est humain aussi de triompher d'une théorie rivale non seulement sur le terrain solide des vérifications, mais encore sur celui des idées directrices.

La théorie de la relativité, restreinte et généralisée, peut être vraie ; l'avenir dira ce qu'il en est. Mais ce que nous pouvons conclure de tout cet article, dans lequel nous avons essayé d'examiner la base philosophique et critique qu'on a donnée en fait à la théorie, c'est que cette base est fragile, et que les relativistes

dans l'intérêt même de leur doctrine, feraient bien de ne pas encombrer de considérations étrangères à la physique l'énoncé de leurs hypothèses, la déduction de leurs conséquences et la confrontation de ces conséquences avec les observations.

En fait, postulats philosophiques, réflexions critiques et principes formels ont joué un rôle de premier plan dans la construction de la théorie ; mais l'histoire est une chose, l'exposé didactique en est une autre ; c'est au point de vue d'un tel exposé que nous nous plaçons ici ; et nous sommes persuadé qu'une présentation désencombrée, strictement positive, rendrait la doctrine à la fois plus simple, plus claire, et au total plus convaincante.

Indiquons les articulations principales de cette présentation : on va voir qu'elles correspondraient encore, à peu près, aux étapes mêmes de la découverte.

*Première étape* : les classiques admettaient l'équivalence de tous les systèmes d'inertie pour les lois de la mécanique, mais pensaient que pour les phénomènes é. m. et optiques un système d'inertie était privilégié parmi les autres ; d'où l'idée d'instituer des expériences pour déceler le mouvement par rapport à ce système privilégié de tel système d'inertie non privilégié, pratiquement de la Terre en translation : systématiquement ces expériences échouent.

Einstein émet alors l'hypothèse qu'il y a équivalence de tous les systèmes d'inertie non seulement en mécanique, mais encore en optique et en E. M. Cette hypothèse implique la constance de la vitesse de la lumière dans tous les systèmes en question, et du même coup la relativité des simultanités à distance, si l'on veut qu'elles soient constatables au moyen de signaux lumineux. De là une nouvelle cinématique où le temps absolu est abandonné ; une nouvelle théorie de l'E. M. et une nouvelle dynamique, qui expliquent tous les faits connus, en particulier les expériences négatives sur la translation absolue de la Terre, et qui permettent même d'en découvrir de nouveaux. C'est la *théorie restreinte*.

*Deuxième étape* : du point de vue mathématique on s'aperçoit que les anciens invariants, masses, longueurs, durées, sont remplacés par d'autres, dont le plus fondamental est l'intervalle spatio-temporel. Sur la considération de cet invariant et de ceux



qui s'y rattachent repose une présentation nouvelle très avantageuse de la théorie restreinte, due à Minkowski, dans laquelle les phénomènes sont rapportés non plus séparément au temps et à l'espace, mais à l'*espace-temps* : c'est l'idée restreinte d'une géométrie d'Univers.

*Troisième étape* : dans le langage de la géométrie d'Univers un point matériel libre — donc soumis à la loi d'inertie — suit une droite de l'E. T. de Minkowski. L'égalité de la masse pesante et de la masse inerte suggère à Einstein l'idée que mouvements de gravitation et mouvements d'inertie sont de même nature : qu'on pourrait rendre compte de la gravitation en disant que les masses gravitantes suivent les géodésiques d'un E. T. courbe, comme les masses libres au sens classique suivent les droites — c'est-à-dire déjà les géodésiques — de l'E. T. de Minkowski. S'inspirant de la géométrie riemannienne, des principes du calcul tensoriel et de la théorie du potentiel newtonien de Laplace et Poisson, Einstein parvient à déterminer un E. T. tel que les mouvements définis par ses géodésiques correspondent en première approximation aux mouvements de gravitation classiques ; et que si l'on pousse l'approximation plus loin ils correspondent mieux aux mouvements observés, en particulier dans le cas de Mercure. Du reste d'autres conséquences déduites de la structure de l'E. T. gravitationnel et relatives à l'optique astronomique se sont trouvées aussi vérifiées.

Un exposé de ce genre ne laisserait rien ignorer du contenu proprement physique de la théorie. Le principe général de la relativité, ramené à sa portée exacte, c'est-à-dire limité aux lois absolues, n'aurait à y être invoqué qu'à propos de la découverte de l'E. T. gravitationnel, pour justifier *a priori* l'emploi des tenseurs et la condition de tensorialité imposée à la loi de gravitation.

Quant aux autres considérations critiques ou philosophiques sur le temps absolu, le mouvement relatif, l'équivalence nécessaire de tous les systèmes de référence, etc., bref tout ce qui alimente ce qu'on pourrait appeler la mystique relativiste, on pourrait sans dommage n'en pas parler, sinon du point de vue strictement historique : la théorie y gagnerait à peu près ce qu'un édifice gagne à être débarrassé de ses échafaudages.

## ARTICLE XVII

## REMARQUES SUR LA RÉUSSITE DE LA THÉORIE

**150. La nouveauté de la conception et la hardiesse de la méthode exigeraient des garanties d'objectivité incontestables. —**

Nous venons de procéder à la critique des postulats relativistes et d'examiner une à une les hypothèses de la théorie ; ce travail a pu nous mettre en garde contre un dogmatisme trop confiant ; il ne saurait nous autoriser à conclure que la doctrine est fausse.

Mais si elle est vraie, si du moins elle a des chances sérieuses de l'être, à quoi donc le reconnaitrons-nous ? D'un mot, à sa *réussite* ; c'est-à-dire, puisqu'il s'agit d'une théorie physique très générale, à sa perfection interne dans l'ordre de l'intelligibilité, et à son accord privilégié avec l'ensemble des faits connus.

Cohérente et achevée, elle constituerait un système dont l'intelligibilité d'ensemble profiterait à chacun de ses éléments, rendant plausibles, comme il arrive dans la solution d'un problème de mots croisés, des hypothèses qui séparément demeureraient douteuses ou même peu vraisemblables. Plus capable que toute autre théorie d'englober harmonieusement la totalité des expériences, elle ne craindrait plus guère de rivalité ; et toute révolutionnaire qu'elle paraisse il faudrait bien qu'on s'y rallie.

Pourtant son caractère révolutionnaire exigerait que la réussite ne fasse pas de doute : elle abandonne le temps absolu, elle transforme la cinématique traditionnelle ; elle rend caduc le principe de l'égalité de l'action et de la réaction et détruit par le fait même la magnifique ordonnance de la dynamique newtonienne ; renonçant ensuite au caractère euclidien de l'espace et au caractère galiléen de l'E. T. elle creuse entre l'Univers tel qu'elle le décrit et l'Univers observable — non seulement de la perception, mais de la science — un hiatus difficile, sinon impossible, à combler ; elle substitue à ce déterminisme que l'on croyait régner de proche en proche entre les états successifs du monde physique un enchevêtrement d'influences sur lequel notre pensée peut craindre de n'avoir plus aucune prise. Telle est la nouveauté de son contenu. Et sa méthode n'est pas moins hardie : si elle n'invoquait pour

aller au devant du réel que ce principe général évident qu'il doit exister des éléments et des lois absolues, ce serait rassurant ; mais ce qui fait sa fécondité, c'est surtout une hypothèse complémentaire et beaucoup moins sûre *a priori* sur la structure spatio-temporelle de ces éléments et de ces lois. Certes le fait de devancer l'expérience par des hypothèses n'est pas une tare : c'est même là l'essence de toute méthode ; mais plus les hypothèses sont générales et formelles, plus elles ont besoin d'être étayées par des raisons d'ordre plus général encore : le principe de la conservation de l'énergie par exemple peut se justifier par la nécessité d'une sorte d'équivalence entre la « cause et l'effet » ; il serait autrement difficile, croyons-nous, de justifier d'une manière analogue l'hypothèse d'une géométrie d'Univers.

Dans son dernier ouvrage, Einstein, après avoir opposé les théories à principes aux théories constructives, dit que les premières, parmi lesquelles il range les siennes, ont pour elles la sûreté des fondements <sup>(1)</sup>. Ses principes à lui sont-ils vraiment sûrs ? Notre réponse est préparée par ce que nous venons de dire : le postulat de relativité serait un principe sûr dans sa teneur générale ; spécifié par l'hypothèse d'une géométrie d'Univers, il perd évidemment en certitude ce qu'il gagne en précision et en richesse ; d'autant que cette géométrie d'Univers se trouve dépendre d'une théorie particulière, celle de Maxwell, à laquelle on ne saurait attribuer une valeur absolue.

Ainsi, que l'on considère les thèses ou la méthode de la nouvelle physique, on éprouve le besoin d'être rassuré *a posteriori*. Sans doute on peut se tranquilliser tout à fait en ce qui concerne l'accord des thèses relativistes les unes avec les autres : plusieurs points, à première vue, paraissent obscurs ; mais ces obscurités, croyons-nous, peuvent toujours s'éclaircir ; nous nous en sommes persuadé en faisant pour notre compte un exposé méthodique de la doctrine ; en tout cas nous avons la conviction que la théorie ne comporte aucune de ces contradictions internes que des critiques insuffisamment informés ont cru parfois y découvrir.

Toutefois ce n'est pas suffisant : on voudrait savoir encore si oui ou non la doctrine est achevable et en bonne voie d'achèvement ; si les vérifications sont bien certaines ; si la réussite est

---

(1) A. Einstein : *Comment je vois le Monde*, ch. v, p. 208.



vraiment de nature à décourager pour toujours la concurrence. Les réflexions qui vont suivre ont pour but de nous aider à nous faire une opinion motivée sur chacun de ces points.

**151. La réalisation est actuellement incomplète et l'achèvement paraît difficile, surtout du point de vue de la physique corpusculaire.** — Nous savons en quoi consiste le programme complet d'une théorie de la relativité générale au sens d'Einstein. L'idée directrice est que toutes les lois doivent être « géométrisées ».

Tant que l'on se borne à un seul domaine, une géométrie d'Univers suffit qui peut être relativement simple ; c'est le cas pour la gravitation. Mais si l'on veut considérer à la fois tous les domaines de la Physique la question ne peut que se compliquer formidablement, car il ne s'agit de rien moins que de découvrir une structure de l'E. T. assez complexe pour qu'on puisse y rattacher, non pas en les juxtaposant mais en les *harmonisant*, toutes les lois fondamentales. Comme le dit Einstein, l'esprit théoricien ne pourrait supporter qu'il y ait par exemple deux structures de l'E. T. indépendantes, correspondant l'une à la gravitation l'autre à l'électricité <sup>(1)</sup>. Relativité oblige ; et c'est pour cela qu'aussitôt découverte la théorie de la gravitation on se mit à l'œuvre avec ferveur pour découvrir une théorie plus générale englobant la gravitation et l'E. M.

Tel est donc le programme. Où en est la réalisation ? Nous nous contenterons de mentionner ce qu'Einstein a appelé la *théorie unitaire* de la gravitation et de l'électricité. Il s'en montre assez satisfait : faisons-lui crédit, en nous disant que personne sans doute n'a plus que lui le sens des exigences de la doctrine.

Donc, admettons-le, voilà deux domaines étudiés avec succès selon la méthode de géométrisation. Cependant, à la fin de son exposé de la théorie unitaire, Einstein a soin de nous dire que cette théorie « n'offre pour le moment aucun moyen de comprendre la « structure des corpuscules ainsi que les faits qui figurent dans « la théorie des quanta » <sup>(2)</sup>. N'est-ce pas, tout en proclamant qu'en droit le programme englobe la physique de l'atome, reconnaître que la réalisation est présentement incomplète ?

---

<sup>(1)</sup> A. Einstein : *Comment je vois le Monde*, ch. v, p. 230.

<sup>(2)</sup> A. Einstein : *Théorie unitaire de la gravitation et de l'électricité*. Trad. Solovine, p. 98.

Mais, quel espoir d'aboutir un jour ? Quand on songe à la complication des édifices cristallins, moléculaires, atomiques, nucléaires, tels surtout que nous les ont révélés les théories récentes, peut-on concevoir avec vraisemblance que les lois structurales d'un E. T. déjà déterminé par d'autres conditions suffisent jamais à les expliquer ? Les lois de la micro-physique ne s'avèrent-elles pas dès maintenant transcendantes par rapport aux lois trop simples de la Mécanique et de l'E. M., et peut-être même d'une toute autre essence ? Cette transcendance et cette diversité ne les mettent-elles pas hors de portée, absolument, pour toute théorie géométrique universelle des phénomènes ? L'avenir seul répondra péremptoirement, mais dès maintenant le doute n'est-il pas plus que permis ? <sup>(1)</sup>

**152. Les vérifications expérimentales ne paraissent pas toutes absolument décisives.** — N'ayons pas l'air de sous-estimer les succès de la théorie dans l'ordre expérimental, ce serait contraire à notre pensée. Dressons même ici la liste des vérifications regardées comme certaines, afin de faire ressortir la solidité due à leur convergence.

Pour la théorie *restreinte* : explication immédiate de toutes les expériences négatives du genre de celle de Michelson ; explication nouvelle de tous les résultats acquis de la mécanique, de l'optique et de l'E. M. classiques ; conformité aux faits de la formule de variation de la masse ; conséquences avantageuses de l'identification de la masse et de l'énergie <sup>(2)</sup>.

Pour la théorie *générale* : explication de l'avance du périhélie de Mercure ; prévision, confirmée après coup, de la déviation des rayons lumineux près du Soleil et du déplacement vers le

---

<sup>(1)</sup> S'il s'agissait simplement de découvrir une géométrie d'Univers autonome, et spéciale par exemple aux atomes ou aux noyaux, considérés comme de petits mondes fermés, le problème pourrait se présenter sous un jour plus favorable, étant donné que des lois de constitution ont plus de chances que d'autres, *a priori*, d'être géométrisables. Mais il est clair qu'une telle géométrie, en raison même de son indépendance, ne répondrait plus strictement au programme d'Einstein.

<sup>(2)</sup> Peut-être voudra-t-on invoquer en outre la réussite de certaines théories nouvelles dans la mesure où elles présupposent les thèses relativistes. Mais, les postulats de ces théories sont-ils suffisamment élucidés pour qu'on puisse se prononcer dès maintenant ?

rouge des raies spectrales d'origine stellaire ; enfin théorie simple de l'effet Doppler d'éloignement de toutes les nébuleuses lointaines.

A côté de cela, aucun échec manifeste et qui soit spécial à la théorie ; aucune concurrence sérieuse non plus, la théorie restreinte en particulier étant actuellement la *seule* qui rende compte de toutes les données relatives à l'optique et à l'E. M. des corps en mouvement <sup>(1)</sup>.

Il y a là, on ne peut le nier, de quoi faire réfléchir les adversaires les plus résolus ; et de fait beaucoup ont fini par se rallier à la doctrine, en dépit de leurs préférences ou de leurs préventions, à cause de cet ensemble impressionnant de succès.

Pourtant, la critique ici encore garde ses droits. Il demeure permis d'examiner, d'éplucher même, une à une, les expériences ou les observations de contrôle, d'autant que dans tous les cas il s'agit d'effets extrêmement petits et difficiles à mettre en évidence. Les études approfondies et impartiales sur le sujet ne font pas défaut <sup>(2)</sup> ; bornons-nous à quelques problèmes plus accessibles.

L'expérience de Michelson, on le sait, a été maintes fois rééditée ; en général les expérimentateurs ont confirmé le résultat négatif. Pourtant nous devons signaler le fait que Miller a cru pouvoir conclure de ses propres expériences qu'il se produisait un déplacement des franges fonction de la vitesse de la Terre par rapport à l'ensemble des étoiles <sup>(3)</sup>. Sans doute les conclusions d'un seul expérimentateur ont peu de poids quand elles s'opposent à celles de tous les autres ; il reste cependant que la question

<sup>(1)</sup> En parlant de la théorie restreinte nous pensons d'abord à la théorie proprement relativiste d'Einstein ; cependant nous ne voudrions pas avoir l'air d'oublier qu'une autre théorie, celle de Lorentz-Poincaré, présente tous les avantages de la théorie restreinte d'Einstein tout en maintenant, du point de vue de la réalité objective sinon du point de vue des phénomènes observables, le temps universel et le privilège du système absolu. Lorentz, on le sait, est demeuré fidèle jusqu'à la fin — et il n'est mort qu'en 1928 — à cette interprétation absolutiste des équations relativistes. Voir : *Conference on the Michelson-Morley experiment*. The Astrophysical Journal, vol. LXVIII, déc. 1928, p. 350.

<sup>(2)</sup> Nous avons eu l'occasion de citer dans l'article XIII les travaux de F. Croze, G. Darmois, J. Chazy. Nous prions encore le lecteur de s'y reporter.

<sup>(3)</sup> Dayton G. Miller : *Le vent d'éther ; expériences effectuées sur le Mont Wilson*, traduit par O. Lapersonne : *Revue Universelle des Mines*, 7<sup>e</sup> série, t. VIII (1925), p. 93-101.



demande à être examinée encore, car, on le comprend sans peine, si un déplacement, fût-il très inférieur au déplacement escompté d'abord par les classiques, se produisait du fait que la Terre a une *vitesse*, la théorie restreinte croulerait par sa base, et avec elle la théorie générale. Ajoutons que l'expérience de Michelson n'a été faite jusqu'ici que dans l'air ou dans un autre gaz ; or la théorie restreinte exige qu'elle donne un résultat négatif même si les rayons qui interfèrent voyagent dans un milieu très dispersif. L'expérience sous cette forme — indiquée déjà par Lorentz — est peut-être difficile à réaliser ; n'empêche qu'on devrait être bien aise, du point de vue relativiste, de savoir qu'elle a été faite, et que le résultat a été encore négatif.

Au sujet des phénomènes lumineux prévus par la théorie générale nous ne voyons pas d'objection sérieuse à faire ; une déviation des rayons qui passent près du soleil, un décalage vers le rouge de certaines raies du spectre du Compagnon de Sirius, sont des phénomènes désormais certains, du sens et de l'ordre de grandeur de ceux qu'annonce la théorie ; et nous comprenons parfaitement que certains physiciens de laboratoire d'abord hésitants se soient laissé persuader par ces réussites. La théorie du déplacement vers le rouge du spectre des nébuleuses laisse la même impression favorable. Nous n'avons donc pas à insister.

Par contre la question du périhélie de Mercure doit retenir un instant notre attention : comme nous l'avons indiqué déjà, toute planète en tant que soumise à l'action du soleil obéit à la même loi de mouvement que Mercure ; mais plusieurs circonstances et surtout le plus grand éloignement par rapport au Soleil, font que les avances des périhélies déduites de la théorie d'Einstein sont à peu près négligeables relativement aux erreurs d'observation pour toutes les planètes autres que Mercure lui-même. Si donc les mouvements de tous les périhélies, sauf celui de Mercure, se trouvaient expliqués complètement par les perturbations, ce serait parfait. Or il y a au moins celui de Mars dont l'avance séculaire paraît bien présenter un résidu de plus de  $8''$  ; et ce résidu, la théorie d'Einstein ne l'explique pas plus que la théorie classique ; ou plutôt elle n'en prévoit qu'une fraction très faible, le sixième environ <sup>(1)</sup>. Si ce n'est pas là un échec spécial à la théorie

---

(1) J. Chazy : *La Théorie de la relativité et la Mécanique céleste*, t. I, ch. v, p. 230.

de la relativité, puisque le problème existe aussi pour les Newtoniens, c'est du moins pour les relativistes une raison de ne pas triompher trop bruyamment ; d'autant que d'autres anomalies non expliquées par les classiques semblent résister aussi aux tentatives d'explication des astronomes de la nouvelle école <sup>(1)</sup>.

Nous n'avons pas dit comment l'on peut sans incohérence prétendre connaître d'après une théorie certaines anomalies, et les expliquer au moyen d'une autre — car c'est bien, en particulier, la valeur trouvée au moyen des équations classiques pour l'avance résiduelle du périhélie de Mercure qu'Einstein explique par ses propres formules. La logique n'exigerait-elle point qu'avant de prétendre expliquer les anomalies par la théorie relativiste on les ait toutes calculées d'après cette même théorie ? Pas absolument, pourvu que l'on puisse établir, en procédant par approximations motivées, que les anomalies relativistes, si l'on pouvait les calculer exactement, demeureraient à très peu près égales aux anomalies classiques. En fait, comme l'application stricte des formules relativistes à des problèmes compliqués est présentement impossible, c'est de cette façon qu'on a raisonné dès qu'on a voulu justifier plus rigoureusement le succès d'Einstein dans le cas de Mercure <sup>(2)</sup>.

N'empêche qu'il y a là pour une critique exigeante un nouveau motif de douter.

Encore une fois nous ne voulons pas minimiser la réussite expérimentale des théories de la relativité ; mais nous pouvons bien conclure que cette réussite n'a pas dans tous les problèmes les caractères de perfection, d'universalité et de certitude qu'on lui attribue quelquefois.

**153. En principe la complexité des phénomènes physiques s'accommode mal d'explications simples trop rigoureuses.** — Notre dernière remarque sur la réussite de la théorie pourra paraître à première vue paradoxale ; nous croyons pourtant qu'après réflexion on ne lui dénierait pas toute valeur.

La réalité physique est presque toujours complexe. Au contraire les phénomènes que peut prétendre expliquer une théorie

<sup>(1)</sup> *Ibidem*, p. 228-232.

<sup>(2)</sup> *Ibid.*, ch. III, p. 97-140.

générale quelconque sont simples en eux-mêmes ; et comme d'ordinaire ils se trouvent entourés, dans la réalité, de circonstances multiples qui peuvent les compliquer, c'est tout un travail, quand on veut vérifier une théorie, d'isoler réellement si c'est possible le phénomène simple correspondant, ou du moins, dans le cas contraire, d'en calculer les données propres, après avoir évalué pour les éliminer par la pensée les influences déformatrices.

On est habitué à cela dans les laboratoires ; quand il s'agit d'observations astronomiques, on ne peut plus isoler artificiellement les phénomènes simples ; on ne rencontre la simplicité qu'autant qu'elle se trouve réalisée naturellement.

Quoi qu'il en soit, le contrôle direct d'une théorie quelconque suppose résolue cette question préjudicielle de l'isolement du phénomène à expliquer ; pour peu qu'il reste des doutes sur ce point, la vérification ne donnera pas toute garantie. Et si l'on a quelque raison de croire qu'une théorie simplifie trop les choses, c'est-à-dire considère comme relevant d'elle seule des phénomènes qui comportent peut-être une part d'éléments étrangers, on pourra craindre qu'une réussite trop belle de sa part soit une fausse réussite, en ce sens qu'elle ne laisse plus aucune place aux effets d'influences perturbatrices dont l'existence est probable. Dans ce cas une autre théorie n'expliquant le phénomène qu'à peu près et laissant place par le fait même à de tels effets secondaires aura *a priori* au moins une chance sur deux d'être en meilleure posture que sa rivale, à condition, bien entendu, que ces effets puissent être regardés avec vraisemblance comme étant du même ordre de grandeur que les écarts entre les conséquences des deux théories.

Notre remarque s'applique, sous forme dubitative bien entendu, aux phénomènes astronomiques, toujours petits et d'aspect résiduel, qui ont fait le succès de la nouvelle théorie de la gravitation. Sans parler ici d'hypothèses fondamentales nouvelles, n'est-il pas permis de penser que peut-être ni le mouvement de Mercure, ni le voyage d'un rayon lumineux tout près du Soleil, ne sont des phénomènes simples ?

On a proposé, en dehors de la théorie relativiste, une bonne dizaine d'explications du mouvement de Mercure, dont plusieurs, les seules qui nous intéressent ici, respectent la loi de Newton, mais invoquent précisément des influences autres que les attrac-



tions gravifiques du Soleil et des planètes <sup>(1)</sup>. N'est-il pas improbable *a priori* qu'aucune de ces influences ne s'exerce réellement ? Or si elles venaient à s'avérer, et qu'une partie notable de l'avance du périhélie en résulte, la théorie d'Einstein pourrait se trouver en défaut, avec cette fois un certain nombre de secondes d'arc en trop pour la position du périhélie.

De même si une atmosphère réfringente entourait le Soleil, elle produirait du point de vue classique une déviation du même sens que celle qu'on a découverte, et qu'il faudrait en retrancher pour obtenir l'effet Einstein. Dès lors l'accord entre la théorie et les observations pourrait paraître moins satisfaisant.

Il est possible aussi qu'un atome qui « vibre » dans un champ de gravitation très intense ait une période réellement plus longue que le même atome vibrant dans un champ faible ; il serait même étrange, semble-t-il, que les « vibrations » des atomes, quel que soit le mécanisme exprimé par ce mot, soient tout à fait indépendantes du champ, et que celui-ci n'exerce pas sur elles une sorte de freinage. Dans l'hypothèse, le déplacement des raies du Compagnon de Sirius pourrait s'expliquer totalement ou en partie du point de vue classique, et le déplacement proprement relativiste serait encore une fois plus grand qu'il ne faut.

Certes, ce ne sont là que des possibilités ; mais n'est-ce pas le propre d'une critique sévère de les envisager toutes ? De ce point de vue nous maintenons qu'en principe une théorie qui, tout en expliquant le gros d'un phénomène, laisse place à des résidus a plus de chances en sa faveur qu'une autre dont l'explication paraît rigoureuse — à moins qu'il n'ait été établi d'abord que le phénomène est rigoureusement simple, et ceci, bien entendu, par des arguments positifs, car cette simplicité en général ne doit pas se présumer. En bonne et rigoureuse méthode, il paraît donc souhaitable, du point de vue même de la théorie d'Einstein, qu'on établisse positivement que les phénomènes litigieux sont réellement simples, ou tout au moins, ce qui serait sans doute plus facile, qu'ils ne peuvent présenter que des complications petites par rapport à leur propre grandeur.

---

(<sup>1</sup>) *Ibidem*, ch. v, p. 204-228.

## ARTICLE XVIII

## CONCLUSIONS

**154. Le relationnisme hiérarchique, tout en impliquant ce qu'il y a de vrai dans le relativisme, paraît de nature à mieux satisfaire l'esprit.** — Avant de dégager les conclusions dernières de notre exposé et de notre critique, nous voudrions faire ressortir encore une fois les avantages que nous paraît présenter la théorie *relationniste* du réel, puisqu'aussi bien c'est à la lumière de cette théorie que nous avons cru devoir examiner les postulats relativistes.

Nous ne prétendons pas que la conception relativiste de l'Univers soit inacceptable ; mais nous nous persuaderions volontiers que cette autre conception que nous avons appelée un relationnisme hiérarchique satisfait mieux aux conditions d'une théorie intelligible au sens humain du mot. Sans parler de la pensée, vulgaire ou savante, dans ses démarches les plus habituelles, la mécanique newtonienne aussi bien que la physique corpusculaire moderne sont strictement relationnistes dans leurs thèses les plus solides. Elles admettent l'existence de termes concrets, distincts, en nombre fini, plus ou moins complexes, entre lesquels elles supposent des relations multiples, les unes dérivant nécessairement de la nature de ces termes, les autres n'en dérivant pas, mais pouvant leur avoir été imposées de surcroît, à la seule condition d'être compatibles avec leur nature. De plus les deux théories satisfont au principe de hiérarchie, qui s'oppose au relativisme pur ; c'est-à-dire qu'elles admettent en droit des termes de comparaison absolument privilégiés, auxquels correspondent des termes comparés privilégiés eux aussi. Ce sont surtout, en Mécanique le système absolu et les mouvements rapportés à ce système, et en physique corpusculaire les grandeurs absolument élémentaires supposées prises pour unités, avec les mesures relatives à ces unités absolues de toutes les autres grandeurs.

Relationnisme, discontinuité, finitisme, hiérarchie, tels sont les postulats de ces deux doctrines, qui dans l'ensemble n'ont pas si mal réussi à interpréter l'expérience. Du reste ces postulats, si

favorables à la clarté, n'ont rien d'étroit ni de limitatif, car les relations qui peuvent se juxtaposer ou s'impliquer sont nombreuses et variées sans cesser d'être intelligibles ; loin d'exiger qu'on qualifie d'« irrationnel » tout ce qui n'est pas conforme à la relation d'identité, le relationnisme nous paraît capable de fournir à la pensée des cadres authentiquement rationnels, et cependant aussi larges et aussi souples que pourra jamais l'exiger la complexité du réel.

Et ce sont justement cette intelligibilité et cette richesse virtuelle, jointes à la réussite dans certains domaines de théories purement relationnistes, qui nous inspirent confiance, au point de nous faire envisager volontiers la *possibilité* à venir — nous ne disons pas plus — d'un relationnisme intégral.

Pour nous faire mieux comprendre, oublions un instant l'histoire : faisons abstraction de la découverte de Newton ; supposons qu'aussitôt après Képler un Laplace précoce ait su construire la théorie du potentiel classique de gravitation sans la rattacher à l'idée des forces centrales, par conséquent en faisant de ce potentiel une réalité physique ; et qu'au moyen de cette seule théorie la Mécanique céleste ait été portée au degré de perfection qu'elle avait atteint par exemple vers 1850. Si à cette époque un Newton tardif fût venu dire à ses contemporains : « Je vais vous révéler enfin la vraie nature de la gravitation : il n'y a pas de potentiel ; il n'y a que des points matériels liés deux à deux par des forces attractives proportionnelles à leurs masses et inversement proportionnelles au carré de leur distance » ; cet homme aurait connu sans doute un succès énorme.

Peut-être la foule eût-elle aimé surtout la nouveauté de l'interprétation. Un philosophe relationniste, lui, eût apprécié la clarté de la nouvelle théorie, son meilleur accord avec les procédés les plus généraux de la pensée humaine ; et il eût été fondé à l'acclamer comme un progrès véritable.

Dans l'hypothèse, nous serions de l'avis de notre philosophe : c'est dire que si, au lieu de voir des théories relationnistes se muer en théories de champs, nous assistions un jour à l'évolution opposée, nous n'en serions ni affligé, ni autrement surpris, ne pouvant considérer que comme un gain pour l'intelligence et comme un réel progrès la substitution éventuelle du fini à l'infini, du discontinu au continu, de la hiérarchie à l'enchevêtrement, d'un



achèvement possible de nos reconstructions à leur inachèvement radical.

**155. Pour le moment il serait aussi peu sage de proclamer vraie et définitive la doctrine relativiste que de la déclarer fausse et caduque.** — Nous avons donc une préférence secrète pour le relationnisme strict. Nous avons déjà dit et nous pouvons répéter qu'une théorie qui reconnaîtrait explicitement et qui utiliserait l'existence d'un système absolument privilégié, n'en serait à nos yeux que plus intelligible. Nous pouvons ajouter que d'instinct nous préfererions aussi à la physique d'Einstein une physique « galiléenne », impliquant un temps absolu ou tout au moins un espace euclidien ; ceci parce que notre perception du réel paraît bien exiger ces données traditionnelles, et que l'espace euclidien jouit pour la pensée d'une intelligibilité privilégiée. Certainement, si demain par impossible un physicien venait nous annoncer qu'il a retrouvé dans le cadre de l'espace et du temps classiques l'équivalent de la théorie d'Einstein, nous ne pourrions nous défendre d'un sentiment de satisfaction ; et ce serait vraisemblablement le cas de beaucoup d'autres.

Allons-nous donc pour ces motifs nous prononcer contre la valeur objective des théories de la relativité, quitte à mettre l'accent sur les doutes qui peuvent subsister au sujet de leur réussite ? Non pas ; car peut-être que ce qui nous apparaît conforme à d'authentiques exigences de la pensée est simplement le fait d'habitudes mentales invétérées dont l'esprit humain parviendra un jour à se déprendre. Plus d'une fois au cours de l'histoire des idées l'amour austère de la vérité a exigé et obtenu des renoncements douloureux ; et tant qu'une doctrine même révolutionnaire n'atteint pas le principe d'intelligibilité dans son essence, on n'a pas le droit de la condamner *a priori*.

Quant à écarter toute considération de ce genre ; à négliger les objections de la critique ; à s'autoriser de la cohérence de la doctrine nouvelle et de sa réussite très belle déjà, sinon parfaite, pour conclure sans délai ni réserve en faveur de sa vérité, ce ne serait guère plus sage. Sans doute il faut admettre, si l'on hésite à voir dans la physique relativiste l'expression exacte du réel, qu'une théorie autre serait capable de rendre compte un jour à sa façon de tous les faits expliqués par Einstein ou même

découverts grâce à lui ; mais l'histoire des sciences nous interdit justement d'écarter une telle éventualité. Newton avait expliqué à sa manière les colorations des lames minces ; Young et Fresnel y virent des phénomènes d'interférences. Fresnel avait déduit de considérations mécaniques sur l'éther des corps en mouvement son fameux coefficient d'entraînement, dont Fizeau vérifia ensuite l'exactitude. Le même coefficient, ou à peu près, fut expliqué d'une manière nouvelle par Lorentz dans sa théorie des électrons, puis d'une autre manière encore par Einstein dans la théorie de la relativité restreinte.

Si donc les phénomènes dont l'explication ou la prévision ont fait le succès des théories relativistes venaient à être déduits d'hypothèses étrangères à ces théories, il n'y aurait là rien d'absolument inédit. Nous avons indiqué déjà que pour plusieurs de ces phénomènes, il ne paraissait pas radicalement impossible de concevoir des explications autres que celles d'Einstein, même dans le cadre des idées classiques. Mais il y a plus à dire, car ces idées classiques en général, et en particulier celles qu'Einstein a cru devoir conserver pour en faire comme les assises profondes de sa doctrine, pourraient elles-mêmes évoluer, ce qui ne manquerait pas d'étendre le champ des solutions possibles. Il ne faut pas oublier que c'est la théorie de Maxwell qui est à la base de toute la nouvelle physique. Or cette théorie, qu'il a déjà fallu sacrifier en partie dès qu'on s'est attaqué à la physique de l'atome, pourrait bien subir un jour une faillite plus complète, ou du moins apparaître comme concernant seulement les phénomènes à notre échelle, ce qui l'empêcherait sans doute de servir telle quelle de fondement à une théorie physique générale. La théorie des quanta et la mécanique ondulatoire ont modifié profondément les problèmes du rayonnement ; et qui sait ce que l'avenir nous réserve dans ce domaine ? Est-il interdit de penser, par exemple, que la théorie du champ é. m. pourrait faire place un jour à une théorie relationniste des échanges d'énergie rayonnante ? L'hypothèse de l'éther a imposé cette idée qu'une source, dès qu'elle existe, rayonne tout autour d'elle. C'était en effet nécessaire tant qu'il y avait un éther semi-matériel emplissant l'espace autour de la source. Mais d'une part on a cessé de croire à l'éther ; et d'autre part on a continué de croire au rayonnement des sources dans tout l'espace même vide. Peut-être qu'il n'en est rien. Peut-

être qu'une source supposée absolument seule ne rayonnerait pas, et qu'une source mise en présence de récepteurs matériels clairsemés dans l'espace ne cède de l'énergie qu'à ces récepteurs, ne « rayonne » que vers eux. La théorie des quanta s'accommoderait volontiers d'une telle hypothèse fondamentale. Du même coup, ce problème, dont nous avons reconnu la gravité, de la dissipation de l'énergie dans un monde ouvert se trouverait radicalement supprimé <sup>(1)</sup>. Cet autre problème de la genèse de l'énergie rayonnante des étoiles changerait d'aspect, et deviendrait sans doute plus facile à résoudre, puisqu'un rayonnement vers les seuls récepteurs matériels serait nécessairement moindre qu'un rayonnement sphérique dans tout l'espace.

Que peuvent valoir de telles hypothèses ? Nous savons bien qu'elles ne sauraient retenir l'attention des physiciens qu'après leur intégration à quelque théorie cohérente et leur traduction en chiffres ; mais si nous les énonçons telles quelles c'est simplement pour faire entrevoir comment il se pourrait que des explications toutes nouvelles vinssent remplacer les explications relativistes, les problèmes qui ont suggéré à Einstein ses premières hypothèses, — avant tout les problèmes de l'optique des corps mobiles — pouvant un jour se présenter sous des aspects inédits et peut-être plus favorables.

Il n'est pas sûr non plus, par ailleurs, que tous les postulats viables aient été pris en considération dans le domaine de la mécanique fondamentale et des lois de force, même si l'on veut se borner, selon l'exigence relationniste, aux forces liant les masses deux à deux. L'idée d'une vitesse limite et d'une masse variable par exemple serait parfaitement compatible avec la thèse d'un système absolu ; et l'on pourrait concevoir des lois d'attraction mutuelle des masses qui fassent intervenir, avec leur distance, d'autres facteurs de détermination, ne serait-ce que leur vitesse, absolue ou relative.

Ici encore bien entendu il ne s'agit que de vagues indications qui peut-être s'avèreraient bientôt inaptés à servir pour la re-

---

<sup>(1)</sup> La pesanteur de l'énergie rend possible une autre solution du même problème : à partir d'une certaine valeur *minima* de l'attraction due à la totalité de la matière universelle, en effet, des photons doués de masse pesante finiraient toujours par rencontrer des récepteurs matériels, même si on les supposait lancés par les sources dans toutes les directions au sein d'un monde ouvert.



présentation des faits. Mais enfin ne vaut-il pas mieux, quand on cherche à résoudre des problèmes complexes et difficiles, envisager des hypothèses plus nombreuses que risquer, pour s'être enfermé dans un cercle d'idées trop étroit, de laisser échapper la solution véritable ?

Aussi bien il n'est ici que de faire crédit aux physiciens : ils savent trop, depuis quelques décades surtout, que les hypothèses et même les postulats fondamentaux de leur science sont souvent susceptibles d'être revisés, ou du moins transposés, pour refuser par exemple de substituer une théorie relationniste à une théorie de champ dès que dans tel ou tel domaine la substitution paraîtrait présenter quelque avantage.

C'est souvent sous la pression des faits que s'opèrent les changements de ce genre : les physiciens ne l'ignorent pas non plus. Ils savent parfaitement que si l'expérience négative de Michelson a provoqué le mouvement relativiste, une autre expérience du même genre, mais positive cette fois, suffirait à provoquer un mouvement en sens contraire ; et si beaucoup aujourd'hui ont tendance à regarder comme vouée d'avance à l'échec toute tentative de déceler par des observations purement terrestres la vitesse de translation de la Terre, il serait bien étonnant, parce que contraire aux plus saines traditions de la physique, que tous aient renoncé définitivement à interroger sur ce point l'expérience, et qu'il n'y ait plus d'émules des Fizeau et des Michelson.

Et puis, rien ne dit qu'on doive ou conserver intégralement la doctrine relativiste, ou la rejeter tout entière : une dissociation n'est pas impossible. On pourrait d'abord, conformément aux idées de Lorentz, revenir à l'interprétation absolutiste de la théorie restreinte ; on pourrait à la rigueur admettre la théorie restreinte sans accepter la théorie générale ; il est possible aussi qu'on soit conduit à retenir certaines thèses de la physique relativiste, et à utiliser certains de ses procédés, en particulier le calcul tensoriel, pour la construction d'une théorie d'ensemble nouvelle.

Prudence, pour ne pas faire inconsidérément de certains postulats autant de dogmes désormais intangibles ; largeur d'esprit, pour ne pas écarter sans examen toute idée nouvelle ; souci constant d'*interroger l'expérience*, pour ne jamais se priver par sa faute des enseignements de ce juge souverain ; souplesse ; pour

savoir s'inspirer des thèses et des procédés d'une doctrine sans s'y asservir, tels sont les principes directeurs qui ont toujours conduit les physiciens au succès, parce que précisément ils ne font que traduire dans la pratique les exigences mêmes de la méthode ; ce sont eux qui depuis vingt ou trente ans ont si bien réussi encore aux physiciens de l'atome ; il n'y a pas à craindre qu'ils soient méconnus de ceux qui s'intéressent à la physique générale : ils continueront de guider dans ce domaine expérimentateurs et théoriciens, et leur permettront sans doute de réaliser bientôt de nouveaux progrès dans la découverte de la vraie figure du monde.

**156. Une grande prudence s'impose à qui voudrait tirer de la doctrine relativiste des conclusions d'ordre philosophique.** — Nous terminerons, comme il convient, par quelques remarques sur l'intérêt proprement philosophique des théories de la relativité.

Ces théories ont suscité chez les philosophes un puissant mouvement de curiosité ; et cela se comprend : le bouleversement de certaines thèses traditionnelles ; une nouvelle conception de la réalité physique, avec son retentissement sur la théorie de la connaissance ; certaines affirmations hardies, même dans l'ordre philosophique, de la part de quelques-uns des nouveaux physiciens ; il y avait là de quoi retenir l'attention de tous ceux qui s'intéressent à la philosophie de la nature, aux questions de méthode, à la critique de la connaissance, même à la métaphysique.

Notre intention n'est nullement d'aborder ces nouveaux problèmes. Bornons-nous à dire que l'un d'entre eux — le plus important peut-être il est vrai — avait particulièrement provoqué nos réflexions : dès nos premières lectures au sujet de la théorie restreinte, nous nous étions demandé, en voyant qu'on abandonnait les durées, les longueurs et les masses absolues, si la Physique elle-même n'allait pas nous inviter, ou nous contraindre, à réduire le domaine de l'objectif au sens fort ; à nier l'objectivité de beaucoup de choses regardées jusqu'alors comme absolument indépendantes de l'observateur ; à concevoir peut-être les lois de la Nature comme immédiatement destinées à harmoniser nos perceptions, plutôt qu'à déterminer l'évolution d'une réalité qui puisse se définir indépendamment de nous. En fait un examen plus approfondi nous a convaincu que sur ce problème capital

de la définition du réel et de notre façon de le connaître les théories de la relativité, justement parce qu'elles admettent elles aussi des invariants et un Univers absolu, n'apportent au philosophe aucun élément essentiellement nouveau, et en tout cas n'impliquent pas les corollaires éventuels que nous venons de formuler.

Certes, la terminologie des nouveaux physiciens, leur souci explicite de découvrir les éléments absolus de l'Univers, la distinction entre lois absolues et lois relatives à laquelle conduit selon nous l'examen de leur doctrine, tout cela pourrait servir, le cas échéant, à poser en termes plus précis le problème métaphysique de la définition du réel ; cependant, en ce qui concerne la solution nous ne voyons pas que la physique relativiste, même à supposer qu'elle s'avère définitive, puisse apporter par elle-même quoi que ce soit d'inédit <sup>(1)</sup>.

Mais la théorie soulève d'autres questions : méthode de la physique, critique des notions de temps, d'espace, de mouvement, nature de la réalité sensible, structure d'ensemble de l'Univers, etc. Aucune philosophie de la nature ne saurait s'édifier solidement sans tenir compte des enseignements de la physique sur tous ces points : et pour le philosophe, dans ce domaine, la crainte du spécialiste devrait toujours être le commencement de la sagesse ; toutefois il ne s'agit pas non plus pour lui d'enregistrer passivement et telles quelles toutes les affirmations des hommes de science, d'accueillir leurs théories sans critique préalable ni consécutive pour en faire autant de vérités acquises dans l'ordre métaphysique ; il est des exigences fondamentales de la pensée que la philosophie se doit de respecter, de défendre au besoin, et à la lumière desquelles il est permis et même obligatoire d'examiner les postulats des théories physiques, surtout quand ils sont d'allure révolutionnaire.

Comment faire pour satisfaire ainsi aux exigences d'une saine philosophie sans méconnaître celles de la science positive ? L'idéal serait d'être à la fois et authentiquement physicien et philosophe ; mais c'est chose rare.

---

<sup>(1)</sup> Un problème analogue, lié à d'autres problèmes plus graves encore, se pose au sujet de la mécanique quantique et de la mécanique ondulatoire. En formulant nos réflexions critiques sur la doctrine relativiste sans faire mention de ces théories nouvelles, nous avons pu paraître ignorer leur existence ou méconnaître leur importance. Non, mais nous avons pensé qu'il valait mieux n'en rien dire que d'en parler à la légère ou d'une façon trop rapide.



En tout cas, la doctrine relativiste étant difficile à saisir dans sa teneur exacte, un philosophe non mathématicien qui s'y attaquait à la légère courrait des dangers de plus d'une sorte : prendre trop à la lettre telles affirmations des spécialistes ; ne pas pénétrer assez profondément au cœur de la théorie ; accorder trop libéralement à toutes les thèses de la doctrine une valeur et une portée définitives... Pour éviter ces écueils, il n'y a guère d'autre moyen que de consacrer tout le temps nécessaire à une étude directe des théories nouvelles, étude préparée par l'histoire, méthodique, aussi complète que possible du moins quant aux principes, enfin et surtout critique.

C'est ce que, témérairement peut-être, nous avons désiré faire pour notre compte. Jusqu'à quel point avons-nous réussi ? Dans quelle mesure notre travail — notre exposé tout au moins, que nous avons voulu objectif en même temps qu'accessible — pourrait-il servir de guide aux philosophes désireux de connaître la doctrine relativiste ? Nous l'ignorons. Mais ce que nous savons bien, c'est que si nous nous sommes approché du but, nous en sommes redevable avant tout aux patientes explications de Mathématiciens et de Physiciens avertis. Qu'on nous permette pour finir de leur en exprimer toute notre reconnaissance.



## OUVRAGES CONSULTÉS <sup>(1)</sup>

---

(Ordre *alphabétique* des noms d'auteurs, sauf pour le premier ouvrage.)

LORENTZ-EINSTEIN-MINKOWSKI. — *Das Relativitätsprinzip*, 4<sup>e</sup> édition, 1 vol. in-8, 160 p., Leipzig-Berlin. Teubner 1922 (Recueil de mémoires et d'articles des trois auteurs, en allemand. Nous y renvoyons en disant simplement : *Das Relat. princ.*, page n.).

---

BAUER (Edmond). — *La Théorie de la Relativité*, 1 vol., carré vi-128 p., Paris-Eyrolles, 1922.

BECQUEREL (Jean). — a) *Le principe de relativité et la théorie de la gravitation*, 1 vol. in-8, ix, 342 p., Paris. Gauthier-Villars, 1922.

b) *Champ de gravitation d'une sphère matérielle et signification physique de la formule de Schwarzschild*. 1 brochure in-8, 32 p., Paris, Hermann, 1923.

BRUNSCHVIG (Léon). — *L'expérience humaine et la causalité physique*, 1 vol. in-8, xvi-625 p. Paris, Alcan, 1922.

CARTAN (Elie). — *Sur les variétés à connexion affine et la théorie de la relativité généralisée*. Dans : *Annales Scientifiques de l'Ecole Normale Supérieure* (3), XL, 1923, p. 325-412 et (3) XLI, 1924, p. 1-25.

CHAZY (Jean). — *La Théorie de la Relativité et la mécanique céleste* : 2 vol., 1<sup>er</sup> vol. in-8, viii-262 p. Paris, Gauthier-Villars 1928 ; 2<sup>e</sup> vol. in-8, vii, 258 p., *ibid.*, 1930.

CROZE (François). — *Les preuves expérimentales de la relativité*, 1 brochure in-8, 42 p., Paris, 1927. Extrait de la *Revue générale des Sciences*. 37. (1926), p. 389-400 et 421-430.

DARMOIS (Georges). — a) *Les équations de la gravitation einsteinienne*. (Mémoires des Sciences mathématiques. Fasc. XXV.) 48 p. Paris, Gauthier-Villars, 1927.

b) *La théorie einsteinienne de la gravitation : les vérifications expérimentales*, 1 broch. in-8, 30 p. Paris, Hermann, 1932.

EDDINGTON (A. S.). — *Espace, Temps et Gravitation*. Traduction J. Rosignol, 1 vol. in-8, ix-262 + 149 p., Paris, Hermann, 1931.

EINSTEIN (Albert).

A) Principaux mémoires publiés *en allemand* dans le Recueil *Das Relativitätsprinzip*.

---

(1) Nous nous bornons dans cette liste aux ouvrages techniques et historiques, auxquels notre dessein et notre méthode nous obligeaient de nous référer à peu près exclusivement.

1. — *Zur Elektrodynamik der Bewegter Körper*, p. 26-50 (publié d'abord dans *Annalen der Physik*, 4<sup>e</sup> série, vol. 17 (1905), p. 891-921).
2. — *Ist die Trägheit eines Körpers von seinem Energieinhalt abhängig ?* p. 51-53.
3. — *Über den Einfluss der Schwerkraft auf die Ausbreitung des Lichtes*, p. 72-80.
4. — *Die Grundlage der allgemeinen Relativitätstheorie*, p. 81-124 (publié d'abord dans *Annalen der Physik*, 4<sup>e</sup> série, vol. 49 (1916).
5. — *Kosmologische Betrachtungen zur Allgemeinen Relativitätstheorie*, p. 130-139.

B) Ouvrages et mémoires traduits en français.

1. — *Sur l'Electrodynamique des corps en mouvement*, suivie de : *L'inertie d'un corps dépend-elle de sa capacité d'énergie ?* traduit par M. Solovine. 1 vol. in-12, 56 p. Paris, Gauthier-Villars, 1925.
  2. — *La théorie de la relativité restreinte et généralisée*. Traduit de l'allemand par M<sup>lle</sup> J. Rouvière. 1 vol. in-12, xxii-120 p. Paris, Gauthier-Villars, 1921.
  3. — Quatre conférences sur la théorie de la relativité, faites à l'Université de Princeton, traduites de l'allemand par M. Solovine. 1 brochure in-8, 98 p. Paris, Gauthier-Villars, 1924.
  4. — a) *Les fondements de la théorie de la relativité générale*.  
b) *Théorie unitaire de la gravitation et de l'électricité*.  
c) *Sur la structure cosmologique de l'espace*. Traduit de l'allemand par M. Solovine. 1 vol. in-8, 112 p. Paris, Hermann, 1933.
  5. — *Comment je vois le monde*, traduit par le Colonel Cros. 1 vol. in-12, vi-260 p., Paris, Flammarion, 1934.
- ESCLANGON (Ernest). — *Sur les formules de Lorentz et le principe de relativité* (C. R. de l'Ac. des Sc. 2 mars 1936 t. CCII p. 708-712.)
- GAUSS (C. F.). — *Recherches générales sur les surfaces courbes*. Traduites en français par E. Roger. 1 vol. in-4, 160 p., 2<sup>e</sup> éd., Paris, Blanchard, 1870.
- GUYE (Ch. Eug.), RATNOWSKY (S.) et LAVANCHY (Ch.). — *Vérification expérimentale de la formule de Lorentz-Einstein*. (Mémoires de la Société de Physique et d'Histoire naturelle de Genève, vol. 39, fasc. 6 (1921), p. 273-364. brochure in-4, Genève, imprimerie Kundig, 1921.
- KANT (Emmanuel). — *Premiers principes métaphysiques des sciences de la Nature*. Traduits pour la première fois en français, et accompagnés d'une introduction sur la Philosophie de la Nature dans Kant, par Ch. Andler et Ed. Chavannes. 1 vol. in-8, cxxx-96 p. Paris, Alcan, 1891.
- LALAN (Victor). — *Sur une définition axiomatique de l'impulsion et de l'énergie*. C. R. de l'Académie des Sciences, 26 mars 1934, t. CXCVIII, p. 1211-1213.
- LANGEVIN (Paul). — a) *L'évolution de l'espace et du temps*. Dans la *Revue de Métaphysique et de Morale*, 19<sup>e</sup> année (1911), p. 455-466.  
b) *L'inertie de l'énergie et ses conséquences*. Dans le *Journal de Physique*, 5<sup>e</sup> série, t. III, 1913, p. 553-591.  
c) *Le principe de Relativité*. I. *La relativité restreinte*. II. *La Relativité généralisée*. (Conférence faite à la Société des Électriciens en décembre 1919). 1 brochure in-8, 64 p. Paris, Chiron, 1922.
- VON LAUE (M.). — a) *La Théorie de la Relativité*, traduit de l'allemand, par



- Gustave Létang. 2 vol. in-8. 1<sup>er</sup> vol., xiv, 332 p. Paris, Gauthier-Villars, 1924, 2<sup>e</sup> vol. xiv, 318 p., *ibidem*, 1926.
- b) *Die Mitführung des Lichtes durch Bewegte Körper nach dem Relativitätsprinzip*. dans : *Annalen der Physik*, 4<sup>e</sup> série, vol. 23 (1907), p. 989-990.
- LEIBNIZ (W.). — *Œuvres de Leibniz*, édition Jacques, 2<sup>e</sup> série. 1 vol. in-12, xxiv-496 p., Paris, Charpentier, 1842.
- LEMAITRE (Georges). — *Un Univers homogène de masse constante et de rayon croissant, rendant compte de la vitesse radiale des nébuleuses extra-galactiques*, dans : *Annales de la Société scientifique de Bruxelles*, t. XLVII (1927), 1<sup>er</sup> fascicule, p. 49-59.
- LEROY (Edouard). *Sur les formules de Lorentz*. C. R. de l'Ac. des Sc. 9 mars 1936, t. CCII, p. 794-795.
- MACH (Ernst). — a) *La Mécanique. Exposé historique et critique de son développement*. Ouvrage traduit sur la 4<sup>e</sup> éd. allemande par M. E. Bertrand. 1 vol. in-8, ix-498 p., Paris, Hermann, 1904.
- b) *La Connaissance et l'Erreur*, traduit sur la dernière édition allemande par le Dr Marcel Dufour. 1 vol., in-12, 392 p., Paris, Flammarion, 1908.
- MASCART (E.). — *Sur les modifications qu'éprouve la lumière par suite du mouvement de la source lumineuse et du mouvement de l'observateur*, 2<sup>e</sup> partie. Dans : *Annales scientifiques de l'Ecole Normale Supérieure*, 2<sup>e</sup> série, t. III (1874), p. 369-420.
- MIE (Gustave). — *La théorie einsteinienne de la gravitation*, ouvrage traduit de l'allemand, 1 vol., in-12, xi, 120 p. Paris, Hermann, 1922.
- MILLER DAYTON (G.). — *Le vent d'éther. Expériences effectuées sur le mont Wilson*. Mémoire lu devant l'Académie nationale des sciences de Washington, le 28 avril 1925. Traduit par O. Lapersonne, dans *Revue Universelle des Mines*, 7<sup>e</sup> série, t. VIII (1925), p. 93-101.
- MINEUR (Henri). — *L'Univers en expansion*, 1 brochure in-8, 42 p., Paris, Hermann, 1933.
- MINKOWSKI (H.). — *Raum und Zeit* (conférence faite à Cologne en 1908), *Das Relat pr.*, p. 54-66.
- NEDELKOVITCH (D.). — *La philosophie naturelle et relativiste de R. J. Boskovich*. 1 vol. in-8, 242 p. Paris, Éditions de la Vie Universitaire, 1922.
- NEWTON (Isaac). — *Philosophiæ naturalis principia mathematica, editio tertia aucta et emendata*. 1 vol. in-4, xxviii-536 p. Londini, MDCCXXVI (1726).
- POINCARÉ (Henri). — a) *Electricité et Optique : la lumière et les théories électromagnétiques*, 2<sup>e</sup> édition 1 vol., in-8, x, 641 p. Paris, Carré et Naud. 1901.
- b) *La Science et l'Hypothèse*, 1 vol. in-12, 284 p. Paris, Flammarion, 1902,
- c) *La Valeur de la Science*, 1 vol. in-12, 278 p. Paris, Flammarion, 1905.
- RICCI et LEVI-CIVITA. — *Méthodes de calcul différentiel absolu, et leurs applications*. Paru dans : *Mathematische Annalen*, t. LIV (1900), réimpression : 1 broch. in-8, 78 p., Paris, Blanchard, 1923.
- RIEMANN (B.). — a) *Œuvres mathématiques de Riemann*, traduites par L. Laugel 1 vol., in-8, xxv-454 p. Paris, Gauthier-Villars, 1898.
- b) *Bernard Riemann's Gesammelte Mathematische Werke*, 1 vol. in-8, X-558 p. Leipzig, 2<sup>e</sup> éd. 1892.
- RITZ (Walther). — *Gesammelte Werke Walther Ritz*. Œuvres complètes

publiées par la Société suisse de Physique. 1 vol. in-8, xxi, 541 p. Paris, Gauthier-Villars, 1911.

SCHWARZSCHILD (Karl). — a) *Über das Gravitationsfeld eines Massenpunktes nach der Einsteinschen Theorie*, dans : *Sitzungsberichte der Königlich Preussischen Akademie der Wissenschaften*, Berlin (1916), p. 189-196.

b) *Über das Gravitationsfeld einer Kugel aus inkompressibler Flüssigkeit, nach der Einsteinschen Theorie* ; *ibidem*, p. 424-434.

VOIGT (W.). — *L'état actuel de nos connaissances sur l'élasticité des cristaux*, traduit de l'allemand par P. Weiss, dans : *Rapports présentés au Congrès international de Physique réuni à Paris en 1900* (1<sup>er</sup> volume), 1 vol. in-8, Paris, Gauthier-Villars, 1900.

WEYL (H.). — *Temps, Espace, Matière. Leçons sur la théorie de la relativité générale*. Traduites sur la 4<sup>e</sup> édition allemande par Gustave Juvet et Robert Leroy. 1 vol. in-8, viii-290 p. Paris, Blanchard, 1922.

---

## TABLE DES MATIÈRES

### Essai critique sur la doctrine relativiste

	Pages
ART. 16. — Réflexions sur les principes de la doctrine, nos 137-149..	VII-1
ART. 17. — Remarques sur la réussite de la théorie, nos 150-153 ..	VII-31
ART. 18. — Conclusions, nos 154-156.....	VII-40
BIBLIOGRAPHIE .....	VII-49

---





---

Saint-Amand (Cher). — Imprimerie P. BUSSIÈRE. — 8-3-1937.

---







# ACTUALITÉS SCIENTIFIQUES ET INDUSTRIELLES

PUBLIÉES SOUS LA DIRECTION DE MM.



**F. ENRIQUES**

De l'Académie Dei Lincei  
Professeur à l'Université de Rome

**PHILOSOPHIE ET HISTOIRE  
DE LA PENSÉE SCIENTIFIQUE**

**Ch. FABRY**

Membre de l'Institut  
Professeur à la Faculté des Sciences

**OPTIQUE**

**E. FAURÉ-FREMIET**

Professeur au Collège de France

**BIOLOGIE  
(Embryologie et Histogenèse)**

**Ch. FRAIPONT**

Professeur à la Faculté des Sciences  
de Liège

**PALÉONTOLOGIE  
ET LES GRANDS PROBLÈMES  
DE LA BIOLOGIE GÉNÉRALE**

**Maurice FRECHET**

Professeur à la Sorbonne

**ANALYSE GÉNÉRALE**

**M. L. GAY**

Professeur de Chimie-Physique  
à la Faculté des Sciences de Montpellier

**THERMODYNAMIQUE ET CHIMIE**

**J. HADAMARD**

Membre de l'Institut

**ANALYSE MATHÉMATIQUE  
ET SES APPLICATIONS**

**Victor HENRI**

Professeur à l'Université de Liège

**PHYSIQUE MOLÉCULAIRE**

**A. F. JOFFÉ**

Directeur de l'Institut Physico-Technique  
de Leningrad

**PHYSIQUE DES CORPS SOLIDES**

**A. JOUNIAUX**

Professeur à l'Institut de Chimie de Lille

**CHIMIE ANALYTIQUE  
(Chimie Physique, minérale  
et Industrielle)**

**N. K. KOLTZOFF**

Directeur de l'Institut de Biologie  
expérimentale de Moscou

Membre honoraire R. S. Edinburgh

**LA GÉNÉTIQUE ET LES PROBLÈMES  
DE L'ÉVOLUTION**

**P. LANGEVIN**

Membre de l'Institut  
Professeur au Collège de France

**L — RELATIVITÉ  
II — PHYSIQUE GÉNÉRALE**

**Louis LAPICQUE**

Membre de l'Institut  
Professeur à la Sorbonne

**PHYSIOLOGIE GÉNÉRALE  
DU SYSTÈME NERVEUX**

**A. MAGNAN**

Professeur au Collège de France

**MORPHOLOGIE  
DYNAMIQUE  
ET MÉCANIQUE DU MOUVEMENT**

**Ch. MARIE**

Directeur de Laboratoire  
à l'Ecole des Hautes-Etudes

**ÉLECTROCHIMIE APPLIQUÉE**

**Ch. MAURAIN**

Membre de l'Institut  
Doyen de la Faculté des Sciences  
Directeur de l'Institut de Physique du Globe

**PHYSIQUE DU GLOBE**

**André MAYER**

Professeur au Collège de France

**PHYSIOLOGIE**

**Henri MINEUR**

Astronome à l'Observatoire de Paris  
Maître de Recherches

**ASTRONOMIE STELLAIRE**

**Ch. MUSCELEANU**

Professeur à la Faculté des Sciences  
de Bucarest

**PHYSIQUE GÉNÉRALE ET QUANTA**

**M. NICLOUX**

Professeur à la Faculté de Médecine  
de Strasbourg

**CHIMIE ANALYTIQUE  
(Chimie organique et biologique)**

**P. PASCAL**

Correspondant de l'Institut  
Professeur à la Sorbonne et à l'Ecole  
Centrale des Arts et Manufactures

**CHIMIE  
GÉNÉRALE et MINÉRALE**

**Ch. PÉREZ**

Professeur à la Sorbonne  
**BIOLOGIE ZOOLOGIQUE**

**CATALOGUE SPÉCIAL SUR DEMANDE**





# ACTUALITÉS SCIENTIFIQUES ET INDUSTRIELLES

PUBLIÉES SOUS LA DIRECTION DE MM.



**J. PERRIN**

Membre de l'Institut  
Prix Nobel de Physique  
Professeur à la Faculté des Sciences  
de Paris

## ATOMISTIQUE

**Marcel PRENANT**

Professeur à la Sorbonne

**I — BIOLOGIE ÉCOLOGIQUE**  
**II — LEÇONS DE ZOOLOGIE**

**A. REY**

Professeur à la Sorbonne

## HISTOIRE DES SCIENCES

**Y. ROCARD**

Maître de Recherches

**THÉORIES MÉCANIQUES**  
(Hydrodynamique-Acoustique)

**R. SOUÈGES**

Chef de Travaux  
à la Faculté de Pharmacie

**EMBRYOLOGIE**  
**ET MORPHOLOGIE VÉGÉTALES**

**TAKAGI**

Professeur à l'Université Impériale de Tokyo

## MATHÉMATIQUES GÉNÉRALES

**TAMIYA-(HIROSHI)**

Membre du Tokugawa Biologisches  
Institut-Tokyo

**BIOLOGIE (Physiologie cellulaire)**

**A. TCHITCHIBABINE**

Membre de l'Académie des Sciences  
de l'U. R. S. S.

**CHIMIE ORGANIQUE**  
(Série hétérocyclique)

**Georges TEISSIER**

Sous-directeur de la Station  
Biologique de Roscoff

**BIOMÉTRIE**  
**ET STATISTIQUE BIOLOGIQUE**

**G. URBAIN**

Membre de l'Institut  
Professeur à la Faculté des Sciences de Paris

## THÉORIES CHIMIQUES

**Pierre URBAIN**

Maître de Conférences à l'Institut  
d'Hydrologie et de Climatologie de Paris

## GÉOCHIMIE

**Y. VERLAINE**

Professeur à l'Université de Liège

## PSYCHOLOGIE ANIMALE

**P. WEISS**

Membre de l'Institut  
Directeur de l'Institut de Physique  
de l'Université de Strasbourg

## MAGNÉTISME

**R. WURMSER**

Directeur du Laboratoire de Biophysique  
de l'École des Hautes-Études

## BIOPHYSIQUE

### Actualités Scientifiques et Industrielles

#### Série 1937 (suite) :

466. LÉON BINET et GEORGES WELLER. Le glutathion.....	20 fr.
467. GEORGES MATISSE. La question de la similitude en Physique et en Biologie. I. — Principes généraux. Lois : d'économie, d'extremum, de simplicité.....	10 fr.
468. GEORGES MATISSE. La question de la similitude en Physique et en Biologie. II. — Faits particuliers. Dispositifs et phénomènes présentés par les Êtres vivants. Examen critique des théories.....	18 fr.
469. H. I. MARESQUELLE. Signification générale de la différence sexuelle.....	18 fr.
470. M. COLLIN. L'innervation de la glande pituitaire (Anatomie et Physiologie).....	20 fr.
471. M. ARCAY. Les ultrasons et leurs applications.....	15 fr.
472. GEORGES BOURION. L'ultraconvergence des séries de Taylor.....	12 fr.
473. M. LACROUTE. Règles d'absorption dans les spectres stellaires.....	20 fr.
474. GASTON RICHARD. La conscience morale et l'expérience morale.....	15 fr.
475. GASTON RICHARD. La Loi morale, les Lois naturelles et les Lois sociales.....	15 fr.
476. L. ESCANDE. Barrages. I. — Calcul des barrages poids à profil triangulaire. Théorie et calculs.....	20 fr.
477. L. ESCANDE. Barrages. II. — Calcul des barrages poids à profil triangulaire. Pratique du calcul. Abaque relatif au cas où N=0,03.....	20 fr.
478. L. ESCANDE. Barrages. III. — Profil optimum de barrage déversoir. Trace aerodynamique des piles.....	20 fr.



LISTE COMPLÈTE A LA FIN DU VOLUME

